

# UNIVERSITE DE LIMOGES

**ECOLE DOCTORALE Science – Technologie – Santé**  
FACULTE de Sciences et Techniques

Laboratoire UMR INRA 1061  
Institut National Agronomique d'El Harrach

**Année 2006 Thèse N°17-2006**

## **Thèse**

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LIMOGES**

**Discipline / Spécialité : BIOLOGIE-SCIENCES-SANTE / ECOLOGIE**

présentée et soutenue par

**Leila ALLAL-BENFEKIH**

le 15 Mai 2006

**Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien.  
Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques**

**Thèse dirigée par Daniel Petit  
Et Mme Bahia Doumandji-Mitiche**

**JURY :**

**Rapporteurs**

M. N. SOLTANI

M. A. HARRAT

M. J.-F. VOISIN

**Examineurs**

MME B. DOUMANDJI-MITICHE

M. S.E. DOUMANDJI

M. D. PETIT

## **DEDICACE**

A mon mari et mes enfants Khalil et Kaouthar,

A mes très chers parents et mes beaux parents, pour leurs sacrifices et leurs efforts consentis,

A ma regrettée grand-mère...

A mon frère Zakaria et ma sœur Myriam,

A toute ma famille et ma belle famille réunies,

Je dédie ce travail

Leïla

## REMERCIEMENTS

*A l'issue de ce travail de recherche, je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Daniel Petit, maître de conférence à la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, pour avoir accepté de co-diriger avec beaucoup d'attention et de soin cette thèse. Je lui suis très reconnaissante pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent, et d'avoir prêté un intérêt constant au sujet de la thèse. Je lui dois beaucoup pour le contenu du travail présenté, pour ses critiques constructives et son aide aux différentes entraves rencontrées, pour sa gentillesse et ses qualités humaines.*

*Mes sincères remerciements vont également à Mme Bahia Doumandji-Mitiche, Professeur à l'Institut Agronomique d'El Harrach à Alger, pour ses enseignements, ses précieux conseils, son soutien, pour sa patiente aide, notamment pour les problèmes administratifs, ainsi que sa disponibilité à tout moment.*

*Qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Salaheddine Doumandji, Professeur à l'Institut Agronomique d'El Harrach à Alger, pour m'avoir guidée, conseillée et orientée avec beaucoup de pertinence, chaque fois que cela était nécessaire. Il m'a bien aimablement fourni de précieux renseignements et m'a permis avec beaucoup de confiance d'avoir accès aux collections d'orthoptères du laboratoire de zoologie. Je lui rends hommage pour avoir accepté de présider mon jury.*

*Je remercie vivement Monsieur Noureddine Soltani, Professeur à l'Université d'Annaba, et Monsieur Abboud Harrat, maître de conférence à l'Université de Constantine, pour leurs encouragements durant toutes mes inscriptions en thèse à l'INA, et qui ont consenti à être rapporteurs de ce travail. Que Monsieur Jean-François Voisin, maître de conférence au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, trouve ici toute ma gratitude et mes sincères remerciements d'avoir accepté de faire partie du jury et d'avoir bien voulu être également rapporteur de ce travail.*

*Je tiens à remercier aussi très chaleureusement tout le personnel du département de prospection et de lutte anti-acridienne à l'Institut national de la protection des végétaux d'El Harrach à Alger, pour m'avoir pilotée tout le long de mon travail sur le terrain ; Monsieur Bachir Chara, Docteur Ingénieur et ancien chef de département pour m'avoir initiée aux recherches sur le criquet migrateur au Sahara, et fourni maintes documentations et renseignements intéressants ; Monsieur Khaled Moumen et Monsieur Sid Ali Moumen Docteurs Ingénieurs et responsables au Ministère de l'Agriculture, pour leurs précieuses orientations et leur bienveillance à m'avoir facilité mes contacts avec les responsables locaux des autorités Nationales dans les régions d'étude.*

*Messieurs les directeurs des services agricoles d'Adrar et de Ghardaïa en particulier, Monsieur Mansour Refis, inspecteur de la protection des végétaux de la Wilaya d'Adrar qui m'a beaucoup aidée dans la consultation d'archives de signalisations acridiennes et guidée dans mes déplacements sur le terrain, de même que tous ses adjoints techniques qui n'ont jamais manqué de prêter main forte dans des moments difficiles, Monsieur N. Tizeggarine inspecteur de la protection des végétaux de la Wilaya de Ghardaïa, Monsieur M. Tirichine, directeur de la station régionale de la protection des végétaux de Ghardaïa, tout le personnel des moyens généraux de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'El Harrach à Alger ainsi que le personnel de la station expérimentale de recherches agronomiques d'Adrar qui m'ont aimablement accueillie, beaucoup facilité mes déplacements sur le terrain et permis de réaliser mes travaux dans une ambiance et un enthousiasme inoubliables.*

*Que Monsieur A. De Loof, professeur à l'Institut de zoologie de l'Université Catholique de Leuven (Belgique) trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour m'avoir accueillie dans son laboratoire de recherches et m'avoir offert les moyens et beaucoup de facilités techniques dans mes expériences sur l'effet des peptides. Il m'a permis de valoriser mon travail au sein d'une équipe perspicace : Madame L. Schoofs, Madame A. Cerstiaens, Monsieur P. Velheart que je remercie profondément. Je remercie également toute*

*l'équipe du laboratoire de zoologie de la faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux qui nous ont fourni gracieusement du matériel biologique pour mener à bien nos expérimentations sur les possibilités d'action des bactéries sur le criquet migrateur. J'exprime toute ma reconnaissance à Messieurs E. Haubruge et C. Gaspar pour leur confiance.*

*Notre travail ne saurait être mené à de meilleurs résultats sans les précieuses informations de Monsieur B. Defaut, acridologue naturaliste ; Monsieur A. Foucart, expert acridologue au PRIFAS de Montpellier et Madame C. Amedegnato, du laboratoire d'entomologie au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.*

*Je ne pourrais oublier de remercier Monsieur A. Beloued, spécialiste en systématique botanique à l'INA, pour m'avoir aidé dans la détermination des espèces végétales, Monsieur M. Biche, maître de conférence au département de zoologie agricole et forestière, Monsieur A. Eddoud, maître assistant au département de génie rural à l'INA, pour leurs conseils, leurs suggestions et leurs encouragements.*

*Tous mes bien sincères remerciements vont aussi à Monsieur L. El Ghadraoui, professeur à la faculté des Sciences et Techniques de Fès (Maroc), Monsieur F. Lalloué, Maître de conférence à la faculté des Sciences et Techniques de Limoges et à Madame F. Picaud, docteur es-sciences pour leur soutien moral, leurs suggestions constructives et leurs encouragements. Mes enseignants et collègues à l'INA : Messieurs G. Chakali, A. Mokabli, et L. Saharaoui pour leur grande amabilité ainsi que tout le personnel du département de zoologie agricole et forestière. J'exprime mes profonds respects et toute ma gratitude à tout le personnel administratif de la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges : Mesdames C. Subileau et L. Naveau, Monsieur M. Guilloton, Madame G. Peyrat de l'école doctorale, Monsieur A. Movaheddi directeur de l'école doctorale de la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, Madame B. Giry responsable des relations internationales au CROUS de Limoges, pour toutes les facilités consenties à l'organisation de mon séjour et toutes les procédures administratives engagées dans ma formation, je n'oublierai pas leur gentillesse. Que tout le personnel de la sous-direction de la formation à l'étranger au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Les responsables du rectorat et du Vice-rectorat de la Post-graduation et toute la direction du département d'Agronomie de l'Université de Blida trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance, je les remercie vivement de m'avoir accordé les moyens financiers nécessaires à ma formation de Doctorat et de m'avoir permis de finaliser ma thèse dans de très bonnes conditions.*

*Je dis un très grand merci à tous mes collègues enseignants du laboratoire de zoologie du département d'Agronomie de Blida : Messieurs M. Aroun, Z. Djazouli, G. Mazari et Mesdames D. Nebih et A. Guendouz pour m'avoir soutenue moralement et encouragée à tout moment, Madame Amina Djemai, Madame Djamila Fadel pour leur gentillesse, leur disponibilité ; Madame Maria Van der Eeken, du laboratoire de zoologie de Leuven, Madame Florence Vallet du laboratoire de biologie de la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges pour leur accueil chaleureux, leur bonté et leur enthousiasme, Mesdames N. Saada et F. Benzara, responsables de la bibliothèque du département de zoologie de l'INA pour leur aide et leur patience. Je ne saurais comment remercier également toute la famille Petit, particulièrement Madame Marie-Hélène Petit pour sa très grande amabilité, sa confiance, son aide et son accueil chaleureux*

*Enfin, ce travail n'aurait pas été mené à terme sans les concessions et les encouragements de mon mari, de mes parents et de mes beaux parents auxquels je dis tout simplement merci.*

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I. GENERALITES</b> .....	<b>5</b>
I. Généralités sur le criquet migrateur <i>Locusta migratoria</i> (L., 1758) .....	5
1- Identité taxonomique du genre <i>Locusta</i> .....	5
2- Races géographiques et leur distribution .....	7
3- Place de la sous-espèce <i>cinerascens</i> dans la systématique du genre <i>Locusta</i> .....	10
4- Invasions des sous-espèces de <i>L. migratoria</i> .....	11
5- Polymorphisme phasaire .....	13
6- Régime alimentaire et dégâts du criquet migrateur .....	14
II. Zonage topographique, écologique et biogéographique de l'Algérie .....	15
1- Le cadre topographique .....	15
2- Le bioclimat .....	16
3- Les zones agroécologiques .....	19
III. Présentation des régions d'étude .....	23
1- Situation géographique et reliefs .....	23
2- Les sols .....	25
3- Flore et végétation des régions d'étude .....	26
4- Activités agricoles dans les régions d'étude .....	27
5- Climatologie des régions d'étude .....	30
IV. Lutte antiacridienne .....	30
1- Lutte préventive .....	30
2- Les ennemis naturels de <i>Locusta migratoria</i> .....	31
3- Les microorganismes pathogènes .....	33
4- La lutte biologique .....	34
5- La lutte chimique .....	36
<b>CHAPITRE II. METHODOLOGIE</b> .....	<b>39</b>
I. Etude de la distribution, des paramètres bioclimatologiques et des biotopes à <i>Locusta</i> en Algérie .....	39
1- Sources des informations sur la distribution de <i>L. migratoria</i> .....	39
2- Représentation cartographique .....	40
3- Acridofaune associée .....	40
4- Bioclimatologie .....	40
5- Distribution du criquet migrateur en rapport avec la végétation .....	41
II- Etudes des populations du Sahara algérien .....	41
1- Relevés personnels .....	41
2- Signalisations de l'INPV .....	49
III- Morphométrie de <i>L. migratoria</i> .....	50
1- Morphométrie classique .....	50
2- Morphométrie géométrique et stress de développement .....	52
IV- Régime alimentaire de <i>L. migratoria</i> au niveau des céréales irriguées sous pivots .....	55
1- Constitution de l'épidermothèque de référence .....	55
2- Echantillonnage des <i>L. migratoria</i> pour la détermination des régimes alimentaires .....	56
3- Technique de prélèvement et d'analyse des fèces .....	56
4- Les paramètres descriptifs des régimes alimentaires .....	57
V- Rôle de l'alimentation sur la croissance et la survie .....	57
1- Méthode d'étude de la croissance des larves .....	57
2- Méthode d'étude de la survie larvaire .....	58
VI. Effets de <i>Bacillus subtilis</i> , de <i>B. thuringiensis</i> et de peptides synthétiques .....	58
1- Effets de <i>Bacillus subtilis</i> .....	58
2- Effets des toxines de <i>Bacillus thuringiensis</i> sur les larves .....	63
3- Etude de l'influence de quelques peptides synthétiques sur la reproduction des femelles .....	65
VII- Analyses statistiques .....	66
1- Analyses de variance .....	66
2- Analyses discriminantes .....	66
3- Corrélations-régressions .....	66
4- Régression logistique .....	67

5- Analyses multivariées .....	67
--------------------------------	----

## **CHAPITRE III. RESULTATS ..... 68**

I- Variations temporelles de la distribution de <i>L. migratoria</i> en Algérie .....	68
1- Distribution géographique actuelle de <i>Locusta migratoria</i> en Algérie .....	68
2- Bioclimagramme actuel de <i>Locusta migratoria</i> .....	69
3- Influence de la flore et de la végétation sur la répartition actuelle de <i>L. migratoria</i> .....	71
4- Distribution ancienne de <i>Locusta migratoria</i> en Algérie.....	71
5- Influence du changement climatique global sur la distribution de <i>L. migratoria</i> dans le Nord Algérien	72
II- Acridofaune associée à <i>Locusta migratoria</i> en Algérie .....	74
1- Ecologie du groupe de Caelifères associé à <i>L. migratoria</i> .....	75
2- Ecologie des autres groupements acridiens.....	76
III- Etude des populations naturelles de <i>L. migratoria</i> dans les périmètres irrigués sous pivot dans le Sahara algérien.....	77
1- Situation géographique des populations de <i>L. migratoria</i> dans les périmètres irrigués sous pivot de la région d'Adrar .....	77
2- Cycle de vie des populations sur pivot.....	78
3- Variations mensuelles du sexe ratio des larves et adultes .....	83
4- Détermination de la sous-espèce de <i>L. migratoria</i> .....	84
5- Etude de la variation des états phasaires des populations de <i>L. m. cinerascens</i> .....	85
6- Etude de l'alimentation des populations dans les périmètres irrigués .....	87
7- Croissance .....	92
8- Influence des céréales cultivées sur l'asymétrie du développement .....	95
IV Expérimentations sur l'action de souches de <i>B. subtilis</i> , de cry-toxines de <i>B. thuringiensis</i> et de divers peptides sur la biologie de <i>L. migratoria</i> .....	98
1- Action de <i>B. subtilis</i> sur la mortalité, sur la croissance et la physiologie de la reproduction .....	98
2- Effet des Cry-toxines de <i>Bacillus thuringiensis</i> sur les larves .....	102
3- Action de neuropeptides sur le développement ovarien de <i>L. migratoria</i> .....	102

## **CHAPITRE IV. DISCUSSION ..... 105**

I- Variations de la distribution de <i>L. m. cinerascens</i> au cours du 20 <sup>ème</sup> siècle .....	105
1- Position systématique des populations algériennes .....	105
2- Analyse du bioclimagramme de <i>L. migratoria cinerascens</i> .....	106
3- Variation temporelle de la distribution de <i>L. m. cinerascens</i> .....	107
II- Cycle, générations et état phasaire de <i>Locusta migratoria</i> .....	110
1- Cycle biologique de la sous-espèce <i>cinerascens</i> .....	110
2- Sexe-ratio .....	111
3- Transitions de phase, grégarisation .....	112
III- Nutrition de <i>Locusta migratoria</i> dans les périmètres irrigués.....	113
IV- Perspectives de lutte contre <i>Locusta migratoria</i> .....	117
1- Effets des différents modes d'administration de <i>B. subtilis</i> et des toxines de <i>B. thuringiensis</i> .....	117
2- Effets des peptides .....	118

## **CONCLUSIONS-PERSPECTIVES ..... 121**

## **BIBLIOGRAPHIE ..... 124**

## **ANNEXES ..... 137**

Annexe 1 .....	137
Annexe 2 .....	139
Annexe 3 .....	140

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. <i>Locusta migratoria cinerascens</i> mâle, phase solitaire. ....	3
Figure 2. Céréaliculture sous pivot dans la région d'Adrar (Sahara central algérien).....	4
Figure 3. Nervation d'un élytre de <i>L. migratoria cinerascens</i> mâle solitaire (Maroc).....	6
Figure 4. Phylogénie moléculaire des Oedipodinae.....	6
Figure 5. A. Vue latérale de <i>L. m. cinerascens</i> femelle, forme solitaire ; B. Vue ventrale du thorax de <i>L. m. cinerascens</i> .....	7
Figure 6. Distribution géographique des sous-espèces de <i>Locusta migratoria</i> .....	8
Figure 7. Les zones de pullulation de <i>Locusta migratoria</i> en Afrique sub-saharienne.....	13
Figure 8. Etages bioclimatiques dans le Sahara algérien.....	18
Figure 9. Zones écologiques de l'Algérie.....	20
Figure 10. Blé dur irrigué sous pivot (A plein champ et B récolte) ; C : maraîchage sous palmeraie ; D : Sorgho sous pivot avec repousses.....	28
Figure 11. Pivot de Sorgho infesté de mauvaises herbes à Adrar.....	42
Figure 12. Stations et limites des wilayas dans les 3 régions d'étude.....	43
Figure 13. Emplacement des prises de mesures morphométriques.....	51
Figure 14. Dessin d'élytre de femelle de <i>L. migratoria cinerascens</i> et position des PR.....	54
Figure 15. Représentation schématique montrant le déplacement d'un PR de l'élytre droit par rapport au gauche, après superposition.....	54
Figure 16. Effet de l'injection de spores de la souche VIII <sub>3</sub> à la dose 3 sur la mortalité de <i>L. migratoria</i> .....	60
Figure 17. Appareil génital femelle de <i>Locusta migratoria</i> en vue dorsale.....	62
Figure 18. Schéma d'un ovariole d'une femelle n'ayant pas encore pondu.....	62
Figure 19. Distribution générale de <i>Locusta migratoria</i> en Algérie.....	68
Figure 20. Répartition de <i>L. migratoria</i> dans le nord algérien.....	69
Figure 21. Fréquence de <i>L. migratoria</i> dans le bioclimagramme d'Emberger en Algérie.....	70
Figure 22. Absence-Présence de <i>L. migratoria</i> en Algérie selon m. A : Nord ; B : Sud.....	70
Figure 23. Absence-Présence de <i>L. migratoria</i> dans le Nord algérien selon la richesse floristique totale.....	71
Figure 24. Corrélation entre les valeurs de m pour les 2 périodes.....	72
Figure 25. Variations des précipitations annuelles en fonction de la distance à la mer, dans les 2 périodes considérées.....	73
Figure 26. Variations de la distribution de <i>L. migratoria</i> dans 3 périodes, selon la distance à la mer des localités.....	74
Figure 27. Climagramme disjoint de l'Acridofaune associée à <i>Locusta migratoria</i> .....	76
Figure 28. Signalisations de <i>L. migratoria</i> dans les périmètres de mise en valeur dans le Sahara algérien.....	77
Figure 29. Relations entre les latitudes et les densités maximales de <i>L. migratoria</i> .....	78
Figure 30. Variations des pourcentages de recouvrements des principales cultures colonisées par <i>Locusta migratoria</i> .....	79
Figure 31. Evolution des fréquences des stades larvaires de <i>L. migratoria</i> .....	79
Figure 32. Fluctuations mensuelles des densités de <i>L. migratoria</i> .....	80
Figure 33. Relations entre les densités et le recouvrement végétal en pourcentage.....	81
Figure 34. Variations corrigées des densités larvaires.....	82
Figure 35. Cycle interprétatif de <i>L. migratoria</i> à Adrar dans les périmètres irrigués à Adrar et Ouargla.....	82
Figure 36. Variations mensuelles des sexe-ratios des larves dans les régions d'Adrar et Ouargla.....	83
Figure 37. Variations mensuelles des sexe-ratios des adultes dans les régions d'Adrar et Ouargla.....	83
Figure 38. Projection des individus mâles de différentes sous-espèces et populations du Bassin méditerranéen sur le plan F1-F2.....	84
Figure 39. Projection des individus femelles de différentes sous-espèces et populations du Bassin méditerranéen sur le plan F1-F2.....	85
Figure 40. Transitions de phase chez les mâles.....	86
Figure 41. A : Variations de densités imaginaires dans les céréales irriguées sous pivot ; B : Variations des superficies cultivées en céréales irriguées sous pivot à Adrar.....	87
Figure 42. A : Relations entre le recouvrement des Poacées et leur taux moyen de consommation par les L4.....	87
Figure 42. B : Relations entre le recouvrement des Poacées et leur taux moyen de consommation par les L5. C : Relations entre le recouvrement des Poacées et leur taux moyen de consommation par les adultes.....	88
Figure 43. Variations de la RCRP chez les adultes selon le recouvrement.....	89
Figure 44. Projection des consommations individuelles sur les axes F1 et F2 des A.C.P.....	90
Figure 45. Appétences des graminées déterminées par les résidus de régression moyens.....	91
Figure 46. Taux de consommation du blé chez les larves de stades 4 et 5.....	92

Figure 47. Durée des stades larvaires 4 et 5 selon le facteur nutritif.....	93
Figure 48. Droite de régression entre la durée du stade 4 et la vitesse de croissance initiale.....	93
Figure 49. Croissance des larves L4 et L5 en début de stade.....	94
Figure 50. Croissance des larves L4 et L5 en fin de stade.....	94
Figure 51. Survie des stades 4 et 5 selon le substrat alimentaire utilisé.....	95
Figure 52. Alignement des 12 PR après superposition des 53 paires d'élytres grâce à la méthode APG.....	95
Figure 53. Pourcentages de variabilité relative des PR entre les élytres droit et gauche de l'ensemble des individus.....	96
Figure 54. Projections des 53 paires d'élytres sur les 2 premiers axes de flexion relative.....	97
Figure 55. Distances euclidiennes entre les projections des paires d'élytres sur les 2 premiers axes de flexion relative.....	97
Figure 56. Variations des TL50 selon les souches utilisées et les doses par injection.....	98
Figure 57 A et B. Variations des TL50 pour les effets stricts de la souche et de la dose, sans les interactions....	99
Figure 58. Variations des TL50 à la dose selon l'inoculum et le mode de traitement.....	99
Figure 59 A et B. Variations des TL50 pour les effets stricts de la souche et du mode de traitement, sans les interactions.....	100
Figure 60. Variations de la taille de l'ovocyte de base selon les traitements.....	100
Figure 61. Pourcentages de résorption ovocytaire par ovaire et par individu.....	101
Figure 62. Variations pondérales des L5 traitées avec les souches VIII <sub>3</sub> et II <sub>4</sub> .....	101
Figure 63. Effets de l'injection de spores de 2 souches de <i>Bacillus subtilis</i> sur la perte pondérale de L5.....	102
Figure 64. Variations de l'index ovarien mesuré au 11 <sup>ème</sup> jour de la vie imaginaire, en fonction de différentes concentrations des peptides injectés.....	103
Figure 65. Comparaison du développement des ovocytes chez des individus traités par 5 injections avec une dose de 0,05 µg de Led-NPF1.....	104
Figure 66. <i>Eyprepocnemis plorans</i> .....	108
Figure 67. Déplacement des étages bioclimatiques de certaines localités entre les périodes ancienne (1913-1938) et récente (1975-2000).....	109
Figure 68. Variations mensuelles des températures à Adrar.....	112
Figure 69. Ovaries disséqués de <i>L. migratoria</i> adultes âgés de 11 jours, traités dès le premier jour de leur vie imaginaire avec une injection journalière pendant une période de 10 jours.....	119
Figure 70. Marquage des protéines hémolympatiques au bleu de Coomassie chez <i>S. gregaria</i> , après séparation par électrophorèse en SDS-PAGE.....	120

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Sous-espèces de <i>Locusta migratoria</i> .....	9
Tableau 2. Caractérisation biométrique des populations françaises de <i>Locusta migratoria migratoria</i> (L.) et de <i>Locusta migratoria cinerascens</i> (F.) en phase solitaire.....	10
Tableau 3. Distinction morphologique entre les phases chez les deux sous-espèces <i>L. m. cinerascens</i> et <i>L. m. migratorioides</i> .....	11
Tableau 4. Aires grégarigènes du criquet migrateur .....	12
Tableau 5. Modifications liées à la transformation phasaire chez <i>Locusta migratoria</i> .....	14
Tableau 6. Principaux effets de l'augmentation des densités sur <i>Locusta migratoria</i> .....	14
Tableau 7. Répartition de la surface agricole utile.....	23
Tableau 8. Principaux groupements végétaux dans la région d'Adrar.....	26
Tableau 9. Répartition des superficies (ha) à Adrar, 1990-1991.....	28
Tableau 10. Evolution des superficies et des productions des céréales irriguées sous pivots à Adrar .....	28
Tableau 11. Les superficies céréalières (ha) par espèce cultivée à Ghardaïa, 1993-2003.....	29
Tableau 12. Superficies cultivées à Ghardaïa en 2001-2002 .....	29
Tableau 13. Superficies et rendements en céréales à Ouargla de 1986 à 2003. ....	29
Tableau 14 A : Paramètres climatiques dans les 3 régions d'étude. B : Variations mensuelles des températures à Adrar (période 1995-2003) .....	30
Tableau 15. Fluctuations mensuelles de la consommation de <i>Locusta migratoria</i> par le héron garde-boeufs en Kabylie.....	32
Tableau 16. Prédateurs invertébrés de <i>L. migratoria</i> .....	33
Tableau 17. Parasites et parasitoïdes de <i>L. migratoria</i> .....	33
Tableau 18. Différents types d'effets de certaines plantes toxiques et phagorépusives sur les acridiens.....	36
Tableau 19. Matières actives sélectionnées dans la lutte antiacridienne. ....	37
Tableau 20. Caractéristiques des stations étudiées dans la région du Touat. ....	42
Tableau 21. Caractéristiques des stations étudiées de la région de Ouargla .....	44
Tableau 22. Localités et périodes d'échantillonnage sur le terrain. ....	46
Tableau 23. A : Taux de recouvrement végétal des stations d'étude de la région d'Adrar de 1995 à 1997. B : Taux de recouvrement végétal des stations d'étude de la région d'Adrar de 2002 à 2004. ....	47
Tableau 24. Principales espèces de plantes et leurs taux de recouvrement dans les stations d'étude de Ouargla. ....	48
Tableau 25. Principales espèces de plantes et leurs taux de recouvrement dans les stations d'étude de Ghardaïa.....	48
Tableau 26. Fiche de signalisation acridienne de l'INPV d'Adrar.....	49
Tableau 27. Rapports morphométriques phasaires (mm) des trois sous espèces de <i>Locusta migratoria</i> .....	52
Tableau 28. Effectifs des <i>Locusta</i> analysés dans les localités nord et sud algériennes.....	52
Tableau 29. Individus analysés à Adrar et à Ouargla .....	56
Tableau 30. Corrélations de Pearson entre les richesses floristiques globales, graminéennes et non graminéennes dans le nord .....	71
Tableau 31. Variations des valeurs de m dans les 3 régions du Nord Algérien, entre les données de Seltzer et les récentes. ....	73
Tableau 32. Groupements acridologiques déduits de la classification hiérarchique .....	74
Tableau 33. Résultats des ANOVA des RCRP.....	89
Tableau 34. Résidus des taux de consommation des Graminées par les L4, L5 et adulte.....	91
Tableau 36. ANOVA des distances euclidiennes des élytres en fonction du sexe et de la culture. ....	97
Tableau 35. Pourcentage de variation de chaque PR par rapport à la variabilité totale .....	96
Tableau 36. ANOVA des distances euclidiennes des élytres en fonction du sexe et de la culture .....	97
Tableau 37. ANOVA des tailles centroïdes des élytres en fonction du sexe et de la culture.....	98
Tableau 38. Taille en mm et étape de développement correspondante des ovocytes de rang 1 (O1) et de rang 2 (O2) chez de jeunes femelles après 10 j de traitement avec Led-NPF-1 .....	103
Tableau 39. Présence de l'acridofaune dans des localités du sud et du Sahara algérien .....	107
Tableau 40. Teneur en lysine chez 3 espèces de graminées.....	114
Tableau 41. Synthèse sur les effets de la nutrition. ....	115
Tableau 42. Résumé de l'effet des différentes souches et inoculum de <i>B. subtilis</i> .....	117

## INTRODUCTION

Il n'y a pratiquement aucun groupe d'animaux que celui des acridiens, sans distinction d'espèces, qui soient les plus redoutables ennemis de l'homme depuis l'apparition de l'agriculture. Présentés dans l'ancien testament comme l'une des plus terrifiantes et catastrophiques manifestations naturelles (Pasquier et Gerbinot, 1945) et considérés comme la huitième plaie de l'Égypte depuis l'exode (Dajoz, 1983), les criquets n'ont jamais cessé d'affronter l'humanité avec leurs pullulations épisodiques (Duranton *et al.*, 1979).

Le plus grand nombre de ces espèces déclarées nuisibles à l'agriculture par le « Center of overseas pest research » (Hamdi, 1989) se trouvent localisées sur le continent Africain, dont 17 espèces de Caelifères Acrididae en Afrique du Nord. En Algérie, on retrouve beaucoup d'acridiens locustes et sautériaux dont les dégâts sont parfois très importants sur les cultures (Doumandji-Mitiche et Doumandji, 1994). Les conditions éco-climatiques du Sahara surtout, confèrent à cette région géographique non seulement un habitat permanent favorable au maintien, au développement et à la reproduction de ces espèces acridiennes, mais aussi une zone de transition et de dispersion pour les locustes, en période de rémission ou en période d'invasion (Popov *et al.*, 1991).

Le fléau acridien apocalyptique par excellence, *Schistocerca gregaria* (Forsk.) se trouve pratiquement dans tout le Sahara Algérien. Ces dernières périodes de recrudescence datent de 1993-1995 (INPV : Institut National de la protection des végétaux, 1993-1995) après une importante période d'invasion dans les années 1987-1989 au niveau du littoral et des hautes plaines. Outre le criquet pèlerin, deux autres acridiens ravageurs majeurs, *Dociostaurus maroccanus* (Thunb.) et *Locusta migratoria* (L.) sont susceptibles d'occasionner des dégâts considérables sur les cultures, les pâturages et les ressources forestières en Algérie. Les aires grégariennes et les zones d'habitat permanent du criquet Marocain sont connues et bien caractérisées (Pasquier, 1937 ; Benfekih et Doumandji-Mitiche, 1996). D'importants efforts de surveillance et de lutte sont déployés chaque année par l'INPV, contre les criquets pèlerin et marocain, au niveau des Hauts Plateaux et particulièrement à l'extrême sud. On accorde cependant moins d'importance au criquet migrateur.

*Locusta migratoria* est l'espèce de locuste qui a la plasticité écologique et l'extension géographique les plus grandes (Launois-Luong et Lecoq, 1993). Les individus collectés durant les invasions ont été originellement décrits sous le nom de 2 espèces : *L. migratoria* (L.) dans la région Paléarctique, et *L. migratorioides* (Reiche & Fairmaire) d'Afrique. Les individus issus de populations dispersées, en faibles densités, largement répandus dans l'Ancien Monde, ont été décrits sous le nom de *L. danica* (L.). C'est Uvarov (1921) qui a mis en évidence que les phases grégaires et dispersées représentaient des états de la même espèce, qui selon la règle de priorité en nomenclature, devait prendre le nom de *L. migratoria*. La périodicité des invasions ainsi que les changements morphologiques couplés aux changements comportementaux notés au cours de la transition phasaire, ont été décrits également par Uvarov (1921, 1923). Plus tard, ce même auteur (1966) a établi que différents noms devaient être attribués aux locustes issues d'origines géographiques différentes, en raison d'une variabilité dans leur tendance à la grégarisation.

Les locustes sont les insectes ravageurs les mieux connus dans le monde. Leur aire de répartition est extrêmement vaste. Un des traits les plus remarquables est leur aptitude à modifier leur comportement, leur physiologie, leur morphologie, leur développement et leur coloration en réponse à des changements de densité de population (Uvarov, 1966). Ce phénomène est connu sous le nom de polymorphisme phasaire continu dépendant de la

densité. En faible densité, les locustes (phase solitaire) sont souvent vertes ou brunes. En revanche, lors des pullulations, elles montrent des motifs noirs dans leur coloration (phase grégaire). Il faut au moins 2000 individus par hectare pour que le phénomène de grégarisme se produise chez *Locusta migratoria migratorioides*. Il est connu que les aires grégarigènes (Lecoq et Mestre, 1988) sont limitées à certaines régions favorables au sein desquelles des invasions peuvent se produire à la suite de fluctuations de la pluviosité (Farrow, 1975 ; Ma Shih-chun et Ting Yen-chin, 1965, *in* Farrow et Colless, 1980). De nouvelles aires grégarigènes sont apparues à cause de modifications anthropiques de l'environnement en Australie, Papouasie-Nouvelle Guinée et au Japon (Farrow, 1979, Ito et Yamagishi, 1976, *in* Farrow et Colless, 1980).

Les différents travaux de laboratoire (in Uvarov, 1966) sur l'influence de l'augmentation des densités de *L. migratoria* semblent montrer que l'existence des deux phases a des significations différentes pour la survie ou la dissémination de l'espèce et qu'il y a probablement des avantages dissemblables peut-être contradictoires à l'existence de chacune des deux phases.

Le cycle biologique de *Locusta migratoria*, comme celui des autres acridiens, comprend trois étapes : l'œuf, la larve et l'imago. La ponte consiste en une grande coque de forme assez variable, longue de 60 à 75 mm, contenant 55 à 115 œufs (Launois-Luong et Lecoq, 1993). En fonction de la taille, et de la position des ébauches alaires, on peut distinguer 5 stades principaux dont le stade 3 peut en regrouper 2. Juste après la dernière mue larvaire, émerge le jeune imago dont les téguments sont mous, le durcissement cuticulaire s'effectuant en quelques jours, une dizaine au maximum.

Les imagos passent par 3 étapes de développement au cours de leur vie, les périodes pré-reproductive, reproductive et post-reproductive. La maturation sexuelle des locustes a lieu en l'espace de quatre semaines (Hunter-Jones, 1961) parfois même au bout de quinze jours seulement selon Launois-Luong et Lecoq (1989). La vie imaginale de *Locusta migratoria* peut s'étaler jusqu'à trois mois en élevage au laboratoire (Koucha, 1997).

Le nombre annuel de générations varie d'une sous-espèce à l'autre selon les conditions écologiques. Le criquet migrateur africain *Locusta m. migratorioides*, se reproduit tout l'année d'après Popov (1996), dans le delta central du Niger et au Mali notamment, à raison de 4 à 5 générations par an en moyenne dans sa phase solitaire. Les grégaires se développent plus lentement et accomplissent un nombre de générations inférieur, en principe 3 (Launois-Luong et Lecoq, 1989). En région tempérée, le Criquet migrateur, *Locusta m. migratoria* résiste aux conditions rigoureuses de l'hiver en développant une diapause embryonnaire, et on compte alors 1 ou 2 générations par an.

Il a été démontré un optimum de précipitations assez élevé, de l'ordre de 50 mm/mois pour la race africaine *L. m. migratorioides* (Darnhoffer et Launois, 1975) et de 50 à 100 mm/mois pour la race malgache *L. m. capito* (Lecoq, 1975). Les populations paléarctiques sont souvent liées à des prairies inondées de manière saisonnière, ce qui indique une préférence pour les habitats mésohygrophiles.

Le Criquet migrateur africain recherche la chaleur avec un optimum thermique de 20° à 25°C. Il colonise des steppes ou des savanes à faible couvert ligneux (Launois-Luong et Lecoq, 1993).

*Locusta migratoria*, sous ses différentes formes grégaires, cause beaucoup de dégâts puisque ses invasions s'étendent à toutes les zones steppiques d'Europe, d'Asie ainsi que les régions tropicales de l'Afrique, et à Madagascar (Balachowsky et Mesnil, 1936). C'est une espèce

graminivore en phase solitaire, mais un redoutable ravageur en période d'invasion car son régime devient polyphage. De très nombreuses plantes sont alors susceptibles d'être attaquées, qu'elles soient ligneuses comme le bananier, le palmier dattier (Kabassina, 1990), ou herbacées, comme le mil, le maïs, le blé et le sorgho (Duranton *et al.*, 1982; Launois-Luong et Lecoq, 1989). Les criquets vivant dans les cultures vivrières ont souvent un cycle biologique calqué sur celui des plantes cultivées. Ainsi, les éclosions ou les arrivées d'ailés coïncident avec l'apparition des jeunes plantules de mil, de sorgho et de maïs en début de saison de pluie Launois (1996).

En Afrique, les foyers grégarigènes chez *L. m. migratorioides*, se trouvent dans le delta central du Niger (Davey, 1959 ; Descamps, 1962 ; Farrow, 1975), au Mali, dans la cuvette du lac Tchad (Duranton, 1980) et probablement dans la région du Nil Bleu au Soudan. Le mécanisme des échanges de populations solitaires à grande distance est connu au Mali, à Madagascar et en Australie (Uvarov, 1977).

Certaines pratiques agricoles ou industrielles favorisent les pullulations de criquets. Ainsi, le surpâturage, la déforestation, l'irrigation, l'introduction de nouvelles variétés cultivées, la construction de barrages peuvent renforcer les capacités destructrices d'un criquet, ou même transformer un criquet non nuisible en criquet ravageur. A Madagascar par exemple, l'aire grégarigène du Criquet migrateur a subi depuis de nombreuses années une déforestation intensive, et de nouveaux biotopes favorables aux criquets se sont développés sur de vastes surfaces.

Si *Locusta migratoria migratorioides* est un ravageur majeur sur le continent africain, jusqu'à une époque récente, *L. m. cinerascens* restait encore peu redouté en Algérie (fig. 1). Pourtant, au cours des 12 dernières années, cette sous-espèce a causé régulièrement des dégâts non négligeables sur les cultures dans les périmètres irrigués par le système des pivots au niveau du Sahara Central, en parallèle avec le criquet pèlerin (Ould El Hadj, 2002).



Figure. 1. *Locusta migratoria cinerascens* mâle, phase solitaire (photo E. Boitier, Corse, 2005).

Les surfaces agricoles, qui ont connu une augmentation de plus de 60 % entre 1984 et 1989 suite à l'aménagement de périmètres de mise en valeur dans le cadre de la loi portant sur l'accès à la propriété foncière (AFPA), ont autorisé une diversification des productions mais aussi un accroissement substantiel des quantités produites. La nouvelle orientation de la politique agricole prise par l'Etat algérien au début des années quatre-vingt a permis d'amorcer un vaste plan de développement et de réhabilitation des zones marginalisées dont le Sud algérien.

L'Etat a en effet prévu une mise en valeur de plus de 200 000 ha de terres arides à travers la création d'un millier de périmètres et une mobilisation d'importantes ressources en eau souterraine par le captage des sources et le forage des puits. C'est ainsi que dans la zone d'Adrar, un projet de mise en valeur a vu le jour et est devenu, en l'espace de dix ans, une

vaste opération technique (fig. 2). Ce projet, mis en place dès 1983 (à la faveur de la loi 83 APFA), visait dès le départ l'aménagement de 1 000 000 ha. Il se basait, dès la fin 1990 essentiellement, sur l'exploitation des ressources en eau souterraine (la nappe albienne de la zone d'Adrar était particulièrement visée), l'exhaure de l'eau par de grands forages industriels ainsi que la mise en place de techniques d'irrigation modernes (grands pivots asperseurs et système de tuyauterie, grandes parcelles de céréaliculture et de plasticulture irriguées) (Sahli, 1994, 1997).



Figure. 2. Céréaliculture sous pivot dans la région d'Adrar (Sahara central algérien)

Dans ce contexte, la conduite de cultures grâce à une irrigation à grande échelle sur de vastes terres arides a entraîné une modification physique des milieux en faveur du peuplement acridien. Des colonisations puis des pullulations rapides du criquet migrateur, aussi bien que du criquet pèlerin se sont donc succédées au niveau de ces biotopes anthropiques (Drias, 1994). Des dégâts ont été alors occasionnés en conséquence au niveau des pivots et des périmètres maraîchers devenus des milieux propices à la multiplication du criquet migrateur.

Nous nous proposons dans ce travail de comprendre l'origine des pullulations de *Locusta migratoria* enregistrées dans les périmètres irrigués du Sahara algérien. Plus précisément, nous essayerons d'apporter des éclaircissements sur les points suivants :

- Historique de la distribution des populations de *L. migratoria* depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, à travers l'analyse de la littérature et des collections conservées dans diverses institutions.
- Etablir le cycle biologique et préciser le phénomène des phases solitaire et grégaire dans les conditions oasiennes grâce aux recherches de terrain et aux archives acridiennes des services de prospection et de lutte antiacridienne depuis 1995.
- Etudier le régime alimentaire et les facteurs favorables aux pullulations de cette espèce dans le sud algérien. Mettre au point un nouvel outil de diagnostic de l'état biologique des populations naturelles rencontrées dans les pivots.
- Initier de nouvelles approches pour la lutte antiacridienne au niveau expérimental, en particulier par l'étude de l'effet de souches et de toxines bactériennes qui n'avaient jamais été testées ainsi que de l'influence de peptides synthétiques sur la physiologie de la reproduction.

L'ensemble de ces travaux doit permettre d'améliorer la connaissance de *Locusta migratoria* dans le Sahara Algérien, de mieux comprendre et caractériser les situations rencontrées sur le terrain afin de mieux évaluer la situation acridienne et d'améliorer la stratégie de surveillance et de lutte, au niveau local, à court, moyen et long termes.

## CHAPITRE I. GENERALITES

### I. Généralités sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (L., 1758)

#### 1- Identité taxonomique du genre *Locusta*

Le genre *Locusta* (= *Pachytylus* Fieber 1853) ne contient qu'une espèce polymorphe *L. migratoria* (Linnaeus, 1758). Cette espèce a été décrite par Linné sous le nom de *Gryllus* (*Locusta*) *migratorius* en 1758 dans *Systema Naturae*, ed. 10, 1 : 431. La parenthèse encadrant *Locusta* a été ajoutée postérieurement à Linné pour distinguer le sous-genre *Locusta* à l'intérieur du genre *Gryllus*. Linné a considéré *G. (Locusta) migratorius* comme espèce type du sous-genre. Par la suite, cette subdivision a été élevée au rang de genre, *Locusta* donc, par Linné lui-même.

Dans cette même subdivision, il a décrit plus tard, en 1767, l'espèce *danicus* dont Uvarov a montré qu'il s'agissait de la forme solitaire, peut-être de la sous-espèce *migratoria*. Cette hypothèse est difficile à vérifier dans la mesure où le type de Linné est perdu.

Synonymes :

- *Gryllus (Locusta) danicus* (Linné, 1767),
- *Pachytylus danicus* (Bolivar, 1914), (Werner, 1914 ; 1929 ; Houlbert, 1927),
- *Locusta danica* (Bolivar, 1913),
- *Locusta migratoria* ph. *danica* (Uvarov, 1926 ; Werner, 1932 ; Chopard, 1922, 1936),
- *Pachytylus migratorius* (Finot, 1890),
- *Pachytylus danicus* (Linné, 1758, Ramme, 1951; Houlbert, 1927).

Le criquet migrateur *Locusta migratoria* est un Orthoptère Caelifère. Il fait partie de la famille des Acrididae MacLeay, 1819, de la sous-famille des Oedipodinae Walker, 1870 (=Locustinae Kirby, 1825) et de la tribu des Locustini Kirby, 1825, selon Orthoptera Species File on line vers. 2.2 (<http://osf2x.orthoptera.org/osf2.2/>).

A l'intérieur des Acrididae, les Oedipodinae diffèrent très peu des Acridinae MacLeay, 1821, chez qui la nervure intercalée, lorsqu'elle existe, n'est jamais serrulée. On différencie les Oedipodinae des Gomphocerinae Fieber, 1853 selon Harz (1975) par :

- le front bombé uni au vertex par un angle droit ou obtus
- les fovéoles temporales petites et triangulaires,
- le pronotum rétréci en avant, à carènes latérales faibles ou nulles,
- les ailes postérieures très souvent enfumées ou colorées.
- l'existence d'une nervure intercalée serrulée (sauf exception) dans le champ médian délimité par la nervure médiane et la nervure cubitale
- l'absence de tubercules sur la ride de la face interne du fémur postérieur.

La sous-famille des Oedipodinae est divisée en plusieurs tribus. Dans la tribu des Locustini dont *Locusta* est le genre type, les élytres présentent un champ cubital large (figure 3), délimité par les nervures cubitales antérieure et postérieures 1 et 2 (Petit *et al.*, 2006).

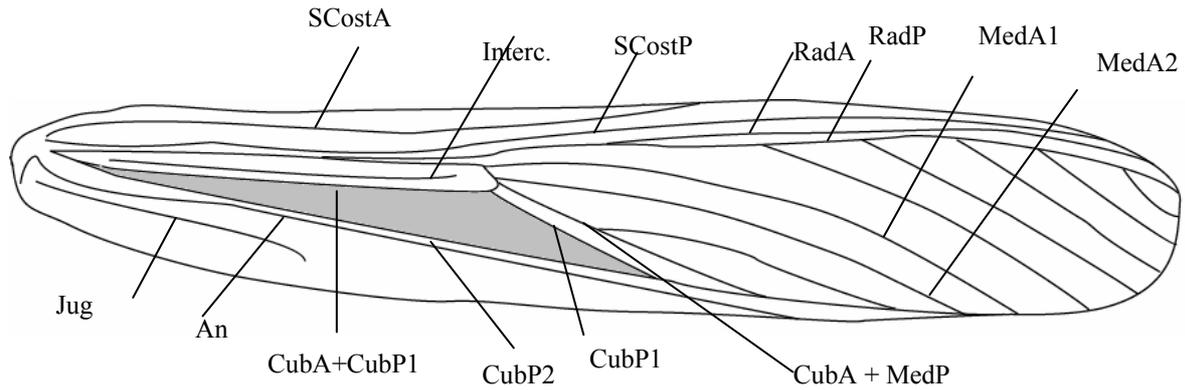


Figure 3. Nervation d'un élytre de *L. migratoria cinerascens* mâle solitaire (Maroc)  
 SCosA et P : Sous-Costales antérieure et postérieure ; Interc. : intercalée ; RadA et P : Radiales antérieure et postérieure ; MedA1, A2 et P : Médianes antérieures 1 et 2 et postérieure ; CubA et P1, P2 : Cubitales antérieure, postérieures 1 et 2 ; An : anale ; Jug : jugale ; Aire en gris : aire cubitale.

Les relations entre ces tribus ont récemment été établies par des approches de génétique moléculaire, plus précisément par les comparaisons de séquences des ARN mitochondriaux 12S et 16S (Petit, 2005). Plusieurs genres de Locustini ont été caractérisés par leurs séquences : *Oedaleus*, *Gastrimargus* et *Morphacris* (fig. 4). D'autres genres font partie de cette tribu mais n'ont encore pas été analysés génétiquement, comme *Psophus*, *Pyrgodera* et *Scintharista*, par exemple.

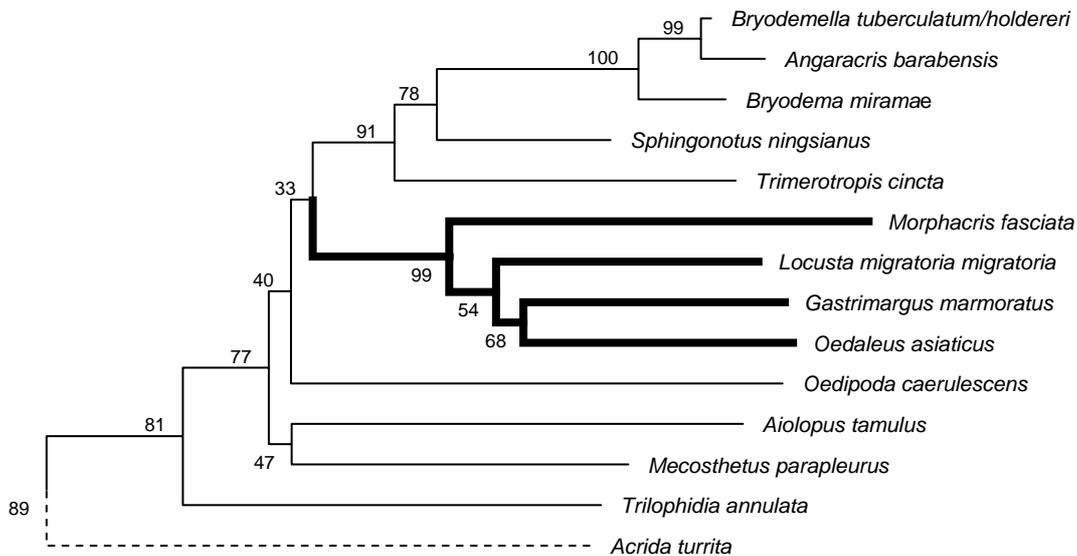


Figure 4. Phylogénie moléculaire des Oedipodinae, d'après Petit (2005), modifié. Analyse de 1050 pb issus de la concaténation des ARN 12S-16S, avec l'option « Minimum Evolution » du logiciel Mega3.0 (Kummar *et al.*, 2004). La tribu des Locustini est matérialisée par un trait épais, les Acridinae par des pointillés. Les pourcentages de bootstrap sur 500 répliques sont indiqués en regard de chaque branche.

Dans la description morphologique du genre *Locusta* de Chopard (1943), Dirsh et Descamps (1968) et Harz (1975), nous retrouvons les caractères suivants (Fig. 5A et B :

- antennes filiformes aussi longues que la tête et le pronotum réunis
- front vertical, excurvé, à côtes frontales moyennement larges, à carinules latérales parallèles et presque effacées,

- tête arrondie, avec le sommet du vertex large
- pronotum orné d'une carène médiane bien marquée à coupure étroite mais bien visible. Il présente deux raies noires longitudinales, est étranglé dans la prozone avec une métazone plus longue et un bord postérieur en angle obtus ou presque arrondi
- espace mésosternal un peu plus long que large
- ouverture tympanale recouverte par le lobe ventral sur plus de sa moitié
- élytres longs et dépassant nettement les fémurs postérieurs
- ailes hyalines sans bande noire, avec les nervures noires et l'apex légèrement enfumé
- chez le mâle, la plaque sus-anale est anguleuse, les cerques sont étroits, coniques, à apex obtus, la plaque sous-génitale est conique, à apex subaigu
- chez la femelle, l'oviscapte est court, robuste, à valves courbées, les valves inférieures à saillie basale externe.

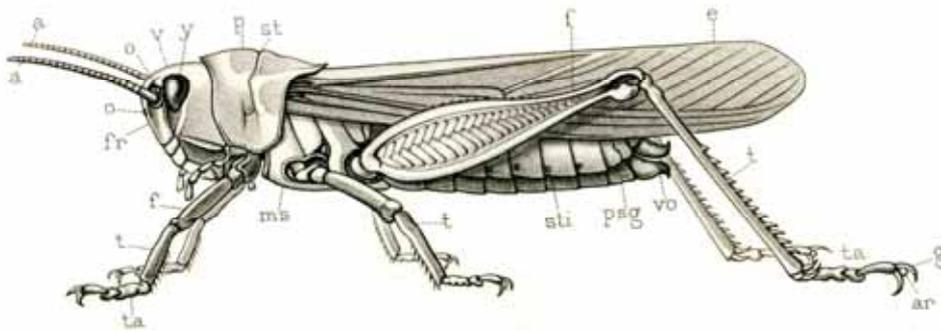


Figure 5A. Vue latérale de *L. m. cinerascens* femelle, forme solitaire (d'après Finot, 1890)

Abréviations. a : antennes ; ar : arolium ; e : élytre ; f : fémur ; fr : front ; g : griffes du tarse ; o : ocelle ; p : pronotum ; psg : plaque sous-génitale ; st : sillon typique ; sti : stigmat abdominal ; ta : tarse ; v : vertex ; vo : valve de l'oviscapte ; y : yeux composés.

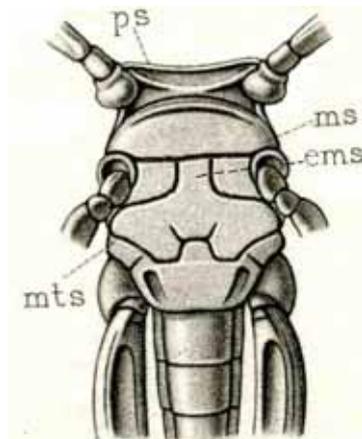


Figure 5B. Vue ventrale du thorax de *L. m. cinerascens* (d'après Finot, 1890, modifié)

Abréviations. ems : espace mésosternal ; ms : mésosternum ; mts : métasternum ; Ps : prosternum.

## 2- Races géographiques et leur distribution

*Locusta migratoria* (L.) présente une importante variation morphologique plus ou moins en rapport avec sa distribution géographique (fig. 6). De nombreuses sous-espèces, au statut restant à préciser dans certains cas, ont été décrites (tableau 1) dans tout l'ancien monde, grâce à des ratios de mesures morphométriques (Uvarov 1921, 1936, 1966). Il n'existe pas de critère absolu pour différencier morphologiquement toutes les sous-espèces, il est nécessaire de tenir compte de l'origine géographique du spécimen récolté (Harz, 1975).

Ces sous-espèces se rencontrent en Afrique au sud du Sahara, à Madagascar, dans la péninsule Arabique et Indo-Pakistanaise, une grande partie de l'Europe et sur le pourtour méditerranéen, en Asie orientale et en Australie (Duranton *et al.*, 1982). L'espèce est inconnue dans les Amériques. On distingue :

- la sous-espèce *burmana* Ramme, 1951
- la sous-espèce *capito* Saussure, 1884
- la sous-espèce *cinerascens* Fabricius, 1781
- la sous-espèce *manilensis* Meyen, 1835
- la sous-espèce *migratoria* Linnaeus, 1758
- la sous-espèce *migratorioides* Reiche et Fairmaire, 1849

Notons que la sous-espèce *gallica* est incluse dans la sous-espèce *migratoria* selon OSF2 mais considérée comme indépendante dans Defaut (2005). Il en est de même pour la sous-espèce *australis*, considérée comme valable par Chapuis *et al.* (2005).

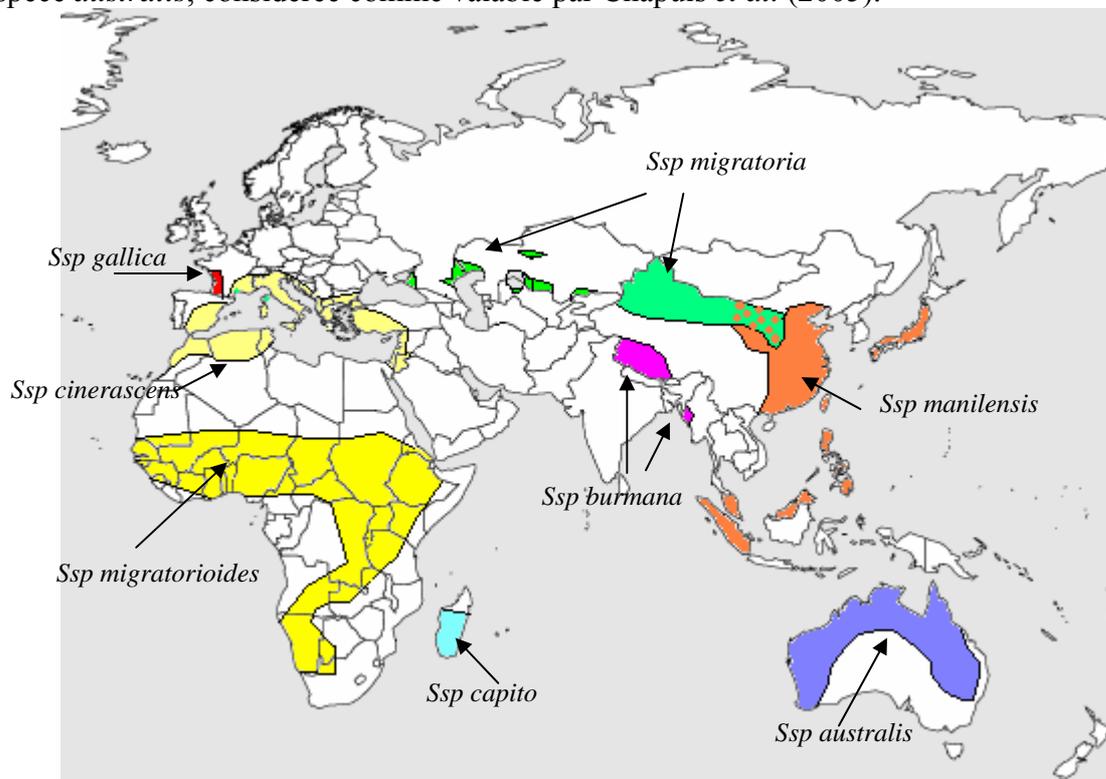


Figure 6. Distribution géographique des sous-espèces de *Locusta migratoria*

D'après Uvarov, 1977, Albrecht, 1967, Fishelson 1985, Kang *et al.*, 1989, le site australien <http://www.affa.gov.au/index.cfm>, Grichanov et Saulich (2003). Dans la partie centre-eurasiatique, seuls les foyers grégariques de la *spp migratoria* sont mentionnés.

Ces sous-espèces se répartissent en deux groupes selon des considérations écologiques (Farrow et Colless, 1980) :

- les sous-espèces paléarctiques qui n'ont qu'une génération par an, une diapause prolongée des oeufs pour la résistance au gel, et une phase solitaire relativement sédentaire,
  - les sous-espèces tropicales, sub-tropicales et des zones tempérées chaudes de l'hémisphère sud et en Chine orientale, qui sont multivoltines, sans diapause quel que soit le stade de développement, et ont des oeufs sensibles au gel, et enfin une phase solitaire qui migre la nuit.
- Ces deux groupes biogéographiques sont physiquement séparés par une ceinture désertique dans l'hémisphère nord mais sont contigus en Chine du nord (Kang *et al.*, 1989).

Tableau 1. Sous-espèces de *Locusta migratoria* (Orthoptera species file online, vers. 2.2).

Sous espèces	Synonymes	Localité type	Type	Institution du dépôt du spécimen
<i>migratoria</i> (Linnaeus, 1758)	-	Eurasia : Kazakhstan, Kzil- Orda	Néotype	Collection Harz, MHNG Genève
	<i>affinis</i> (Sjöstedt, 1931)	Afrique : Haute Volta : Pundu	Holotype	NHRS Stockholm
	<i>australis</i> (Saussure, 1884)	Océan Pacifique : Tongatabu, Fiji	lectotype	MHNG Genève
	<i>gallica</i> (Remaudière, 1948)	Eurasie	-	-
	<i>danica</i> (Linnaeus, 1758)	Eurasie	Perdu	Inconnue
	<i>rossica</i> (Uvarov et Zolotaresky, 1929)	Eurasie	-	-
<i>burmana</i> (Ramme, 1951)	-	Eurasie : Birmanie : Mt Victoria	Syntypes	ZMHB Musée de Berlin
	<i>tibetensis</i> (Chen Yonglin, 1963)	Eurasie : Tibet	-	-
<i>capito</i> (Saussure, 1884)	-	Océan Indien : Madagascar	Holotype	MHNG Genève
<i>cinerascens</i> (Fabricius, 1781)	-	Eurasie : Italie : Iles Lipari	Néotype	Collection Harz MHNG Genève
<i>manilensis</i> (Meyen, 1835)	-	-	-	-
<i>migratorioides</i> (Reiche et Fairmaire, 1849)	-	Afrique : Abyssinie	Perdu	inconnue
	<i>punctifrons</i> (Dirsh, 1961)	-	-	BMNH London NH Museum

Le criquet migrateur est considérablement moins répandu dans le nord de son aire de distribution. A l'exception du Luxembourg, la sous-espèce *migratoria* était encore mentionnée dans toute l'Europe occidentale jusqu'à une époque relativement récente (Bellman et Luquet, 1995). En Belgique après 1944 et aux Pays-bas après 1968, elle n'a plus été observée. Les dernières observations dans le Nord de la France sont également très anciennes.

La sous-espèce *cinerascens* a une distribution méditerranéenne. On la trouve dans les pays sud européens, comme l'Espagne, la France (Chopard, 1951), la Suisse (Thorens et Nadig, 1997), l'Italie continentale (La Greca, 1959), la Sardaigne (Bacetti, 1963), la Yougoslavie (Us, 1968) et la Grèce, dans l'est du Bassin méditerranéen, comme en Israël (Fishelson, 1985) ou en Turquie (Deveci, 1996) et en Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie). En Algérie, la sous-espèce *cinerascens* est un taxon caractéristique des zones littorales et des plaines de l'Atlas Tellien ainsi qu'au sud de l'Atlas Saharien d'après Chopard (1943).

Du fait de possibilités de migrations de grande ampleur, différentes sous-espèces peuvent se trouver en mélange dans une région restreinte. Par exemple, Harz (1962, 1975) qualifie les « criquets de Palavas », présents sur le littoral languedocien dans le sud de la France comme étant une grande forme locale de *Locusta m. cinerascens*, et qu'il explique par des conditions de vie favorables permettant un stade larvaire supplémentaire. Or, l'étude biométrique réalisée par Defaut (2005) sur les *Locusta* du sud-est de la France conclut à une implantation ancienne de *L. m. migratoria*, ce qui vérifie bien l'hypothèse de Remaudière (1948) selon laquelle les criquets de Palavas seraient parvenus jusqu'au littoral de l'Hérault à partir des foyers du delta du Danube. En effet, il est bien connu que les vols migratoires de *L. m. migratoria*, en provenance d'Europe centrale peuvent le conduire loin de ses foyers, jusqu'en Scandinavie.

Defaut (1999, 2005) ajoute ainsi que la sous-espèce *cinerascens* est plus petite que la sous-espèce *migratoria*. En cas de dérangement fortuit, elle est caractérisée par un vol de fuite soutenu, battu régulièrement et rectiligne se prolongeant sur 30 à 100 m. Il existe une race locale de *L. m. migratoria* dans le sud et le centre ouest de la France, (Chopard, 1951; Defaut, 1999), *Locusta m. gallica* Remaudière, très voisine de la forme *rossica* Uv. et Zol. de Russie méridionale.

### 3- Place de la sous-espèce *cinerascens* dans la systématique du genre *Locusta*

#### 3-1- Type

Fabricius a décrit cette sous-espèce sous le nom de *Gryllus cinerascens* dans Spec. Ins. I p. 369, 38 en 1781. L'exemplaire type provenant d'Italie ayant été perdu (information confirmée par le Dr Kristensen curateur du musée de Copenhague), Harz (1975) a désigné un néotype à partir d'un mâle récolté dans les îles Lipari, également en Italie. Ce taxon a également été nommé *Pachytylus cinerascens* (Bonnet et Finot, 1885 ; Finot, 1890 ; Krauss et Vosseler, 1896).

#### 3-2- Caractères morphométriques et biométriques distinctifs

La longueur du corps et les dimensions du pronotum, des tegmina et des fémurs postérieurs suffisent à différencier *Locusta m. migratoria* et *Locusta m. cinerascens* : la première sous-espèce étant toujours plus grande que la seconde (tableau 2). Les rapports P/C, H/C et M/C sont utiles pour séparer *L. m. gallica* de *L. m. migratoria* (Defaut, 2005).

Tableau 2. Caractérisation biométrique des populations françaises de *Locusta migratoria migratoria* (L.) et de *Locusta migratoria cinerascens* (F.) en phase solitaire, d'après Defaut, (2005). Nous avons rajouté quelques mesures issues de Remaudière (1948) et Harz (1975).

Dimensions en mm	<i>L. m. migratoria</i>		<i>L. m. cinerascens</i>	
	Mâles n = 10	Femelles n = 9	Mâles n = 20	Femelles n = 15
P	9,95-13,10 8,8-13,4* 7-11 **	12,60-15,60	7,20-9,90 7-9 **	9,65-11,90 9-12,5**
F	25,80-38,20 23,7-31,8* 23-25**	32,20-37,60	19,60-23,20 18-24* 19-21**	24,20-30,20 21-31* 23-26**
E	43,50-57-40 45-49* 47-48**	55,60-66,30 55-58**	35,70-41-70 34-41,5* 35-39**	42,80-49,90 46,9-52,50* 45-47**
E/P	3,97-4,64	4,15-4,66	4,08-4,97	4,04-4,56
E/F	1,50-1,79	1,64-1,80	1,71-1,88	1,59-1,85
Rapport métazone/prozone	1,08-1,30	0,9-1,21	1,02-1,21	1,03-1,18

Les dimensions sont en mm. P : longueur du pronotum ; F : longueur des fémurs postérieurs ; E : longueur des élytres. \* : Remaudière 1948 ; \*\* : Harz 1975.

En Afrique, le criquet migrateur *Locusta migratoria* est représenté par la sous-espèce *L. m. migratorioides* ou criquet migrateur africain, au sud du Sahara et aux îles du Cap-Vert et par la sous-espèce *L. m. capito* ou criquet migrateur malgache couvrant toute l'île de Madagascar, particulièrement dans la région occidentale (Dirsh et Descamps, 1968).

Ces deux sous-espèces demeurent impossibles à distinguer sur le plan morphologique (Wintrebert, 1970 ; Lecoq, 1991). Les caractères permettant de distinguer *L. m. cinerascens* de *L. m. migratorioides* sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3. Distinction morphologique entre les phases chez les deux sous-espèces *L. m. cinerascens* et *L. m. migratorioides*.

Sous espèces	Phase solitaire	Phase grégaire
<i>L. m. cinerascens</i>  D'après Chopard (1951) et Harz (1975).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- angle postérieur du pronotum aigu ou droit</li> <li>- carène médiane du pronotum très convexe.</li> <li>- rapport tegmen/fémur postérieur inférieur à 2.</li> <li>- mâle beaucoup plus petit que la femelle.</li> <li>- tibias postérieurs généralement rouges ou rougeâtres.</li> <li>- couleurs (brun uni, beige uni, vert uni) plus étendues sur le pronotum, dans le champ postérieur des tegmina et sur le dessus des fémurs postérieurs.</li> <li>- ailes d'un vert jaunâtre surtout dans le tiers basal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- angle postérieur du pronotum obtus, presque arrondi.</li> <li>- carène médiane du pronotum droite ou même déprimée.</li> <li>- rapport tegmen/fémur postérieur supérieur à 2.</li> <li>- mâle presque aussi grand que la femelle.</li> <li>- tibias postérieurs jaunâtres.</li> <li>- coloration générale variée (2 bandes longitudinales d'un noir velouté nettes sur le pronotum).</li> <li>- ailes totalement incolores.</li> </ul>
<i>L. m. migratorioides</i>  D'après Mestre (1988), Lecoq (1991).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coloration générale verte (saison des pluies) ou brune (pleine saison sèche), plus ou moins mouchetée de brun foncé ou de noirâtre sur le pronotum.</li> <li>- carène dorsale du pronotum arquée</li> <li>- fémur postérieur plus long dépassant l'abdomen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- absence de polychromatisme vert/brun ; coloration chez les imagos et les larves est jaune plus ou moins orangé maculé de noir.</li> <li>- carène dorsale du pronotum presque plane.</li> <li>- fémur postérieur plus court ne dépassant jamais l'extrémité abdominale.</li> </ul>

#### 4- Invasions des sous-espèces de *L. migratoria* (tableau 4)

Des données comparatives sur les vols des différentes races géographiques de *Locusta migratoria*, bien que fragmentaires, donnent des idées intéressantes sur les facteurs conditionnant la présence et le type de leurs migrations. La race la plus nordique, *L. m. migratoria* forme *rossica*, connue de la zone tempérée de Russie centrale, vers le cours moyen de la Volga en particulier, est caractérisée par une très faible aptitude à la grégarisation (Predtechenskiï, 1928) et le dernier essaim s'est produit en 1939-41 (Tsyplenkov, 1972). En 1912 et en 1925 (Uvarov, 1913; Zakharov, 1926), de nombreux essaims du criquet migrateur asiatique *L. m. migratoria* ont envahi des steppes du nord Caucase. La séquence des dates et la direction de leurs mouvements ont coïncidé avec les changements du temps, particulièrement les pluies et les vents. Dans le delta du fleuve Amu-Dar'ya (Novitskiï, 1963; Nikulin, 1969), les vols migratoires de *L. m. migratoria* sont favorisés par des températures élevées et ont pu s'étendre sur des distances jusqu'à 400 Km et envahir le nord Caucase, en 1947 et 1967.

*L. m. cinerascens* est commun dans les habitats propices autour de la Méditerranée seulement dans sa phase solitaire. Des individus arborant une coloration de type grégaire et formant des bandes temporaires lâches sont apparus en 1936 dans la région de Naples en Italie, mais aucun vol n'a été noté (Jannone, 1936).

Au contraire, *L. m. gallica*, endémique de la côte atlantique française, le plus souvent rencontré dans sa phase solitaire, a produit des essaims à deux reprises au cours du 20<sup>ème</sup> siècle (1902 et 1944-1947) (Uvarov, 1947, 1949), qui se sont répandus vers le sud jusqu'à la côte méditerranéenne et vers le nord jusqu'en Angleterre. La migration était en relation avec la grégarisation provoquée par des changements écologiques d'origine anthropique et liés à la sécheresse qui a sévi de 1942 à 1947.

Les migrations du criquet migrateur oriental, *L. m. manilensis* à partir de l'aire grégarigène en Chine et dans les îles pacifiques et indonésiennes (Philippines, Bornéo, Malaisie) suggèrent une expansion dans toutes les directions sans doute en relation avec les vents saisonniers (Uvarov, 1977).

Tableau 4. Aires grégarigènes du criquet migrateur (Farrow et Colless, 1980).

Aires grégarigènes majeures dans les régions tropicales et tempérées		
Pays	Localités	Invasions au 20ème siècle
1 Mali	Niger moyen, plaine alluviale	1928-1941
2 Madagascar	Plaine côtière du sud ouest	plusieurs
3 Chine	Plaine alluviale du centre est	plusieurs
4 Philippines	Prairies près de Sarangani Bay, Mindanao	plusieurs
5 Australie	Prairies des Highlands centrales, Queensland	1974-1976
6 Papouasie Nouv. Guinée	Prairies de Markham Valley	1974-1976
Aires grégarigènes mineures dans les tropiques et l'hémisphère sud ayant récemment engendré des pullulations de courte durée de vie		
1 Nigeria	Prairies du lac Tchad et plaines alluviales du Benue supérieur	octobre-novembre 1970
2 Inde	Kutch	octobre 1975
3 Malaisie	Sarawak, district de Lubok Antu	septembre-octobre 1976
4 Japon	Minami et îles Kita-Daito	1972-1973
	Îles Goodenough	
5 Papouasie Nouv. Guinée	Nouvelles Galles du sud, au nord	1972
6 Australie		juin-août 1976, 1977

L'absence de formation d'essaims dans la plus grande partie des tropiques est plutôt attribuée à l'absence de conditions externes appropriées qu'à des différences dans l'aptitude à la grégarisation inhérentes à certaines populations. Les invasions du criquet migrateur africain *Locusta migratoria migratorioides* affectent toutes les régions intertropicales de l'Afrique, à l'exception du désert et de la forêt équatoriale dense où les essaims de cet acridien ne pénètrent qu'accidentellement, généralement à la faveur de perturbations climatiques (Zolotarevsky, 1954).

Les renseignements sur les invasions du criquet migrateur africain dans le passé lointain sont rares et peu sûrs. Selon Koelbe (in Davey et Johnston, 1956), les premiers essaims de locustes ont été décrits dans le bassin du lac Tchad en 1834. Une autre invasion a suivi entre 1891 et 1902 (Lean, 1931). La dernière grande invasion s'est déclarée dans cette zone en 1928. En l'espace de cinq ou six ans, elle s'est étendue à une très grande partie du continent africain, au sud du Sahara. Elle n'a pris fin qu'en 1940. La mobilité des individus solitaires dans les régions tropicales a été soulignée. Durant l'invasion de 1928-1941 en Afrique (fig. 7), des essaims se sont répandus du Mali vers le sud de l'Afrique en 4 ans, couvrant 16 générations (Batten, 1966).

Plus récemment, de nombreuses invasions sont apparues : en 1942, 1943, 1945-1948, 1950 (revue dans Uvarov, 1966). En 1996 et 1997, une nouvelle pullulation a affecté la totalité du bassin du lac Tchad : l'ouest du Tchad, le nord du Cameroun, le nord-est du Nigeria et le sud-est du Niger.

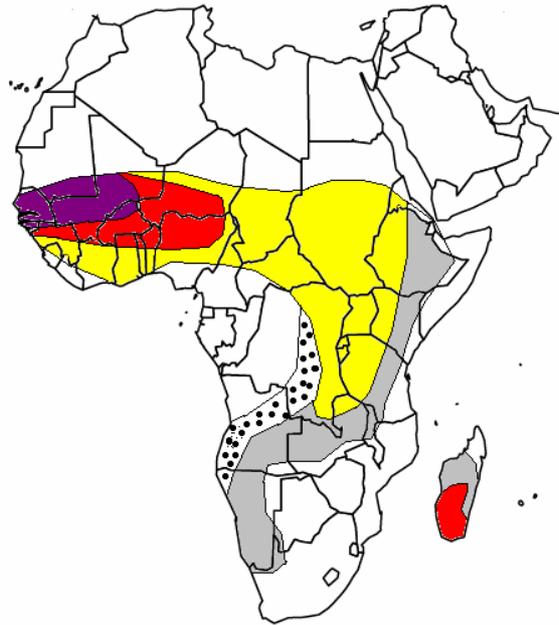


Figure 7. Les zones de pullulation de *Locusta migratoria* en Afrique sub-saharienne de 1928 à 1934 (d'après CIRAD, [http:// www.ulb.ac.be/inforosciences/actuscience/dossiersblattes/docs/ panneauaux.pdf](http://www.ulb.ac.be/inforosciences/actuscience/dossiersblattes/docs/panneaux.pdf)). Les couleurs violette et rouge correspondent aux zones grégarigènes.

Les principaux biotopes favorables pour *L. migratoria* dans la région du lac Tchad ont été décrits par Wintrebert (1972), Lecoq (1974) et Duranton (1979) :

- plaines riveraines inondables à sol sablo-argileux des rivières Chari, Logone, Mayo Kebi et Benue ;
- Les plaines inondables pluviales, avec des sols tropicaux noirs argileux dans le sud-ouest et le sud du lac Tchad, à l'est de Massenya et autour du lac Fitri ;
- Les plaines près des rivages du lac avec sol argilo-siliceux, où se développe une végétation luxuriante en juillet-août quand les inondations cessent.

Les déplacements d'essaims du criquet malgache, *L. m. capito* s'étendent vers le nord à partir de l'aire grégarigène située dans l'extrême sud de l'île, selon la persistance des vents tout au long de l'année (Frappa, 1947; Zolotarevsky, 1930). Plusieurs cycles d'invasion à Madagascar ont été observés selon les informations de la F.A.O. (1967): 1880-1888, 1899-1904, 1909-1915, 1921-1929, 1939-1957 et 1960-1962. Trois autres départs d'invasion ont été enregistrés : en 1981-1982 et en 1985 (Lecoq, 1991).

Des invasions plus restreintes se sont propagées à partir d'aires grégarigènes à Madagascar, les Philippines et la Chine (Otanés, 1953 ; Têtefort et Müller, 1972 ; Roffey, 1972 ; Farrow, 1974). On a donc de fortes raisons de penser que des croisements répétés se produisent entre des populations sur une grande surface des régions tropicales. L'existence de populations dispersées a été attribuée à des invasions d'essaims, mais le fait de la vaste distribution de cette locuste dans les tropiques, dans des endroits où aucune invasion a été notée suggère que la dispersion des individus solitaires a une signification majeure dans la distribution de l'espèce à long terme.

#### 5- Polymorphisme phasaire

En plus de l'effet de la densation, d'autres facteurs semblent intervenir dans l'expression du

polymorphisme phasaire tels que la photopériode, la température, la sécheresse, la qualité de l'alimentation, la teneur en gaz carbonique, ainsi que la salinité du sol (Appert et Deuse, 1982).

L'apparition de pluies abondantes survenant après une période de sécheresse prolongée, favorise l'éclosion en masse et déclenche une grégarisation (Grassé, 1949). De même, la sécheresse qui réduit les surfaces couvertes de végétation, oblige les criquets à se réunir sur des points relativement peu étendus. Au Mali, la température et les précipitations influent sur la taille des individus de populations dispersées (Farrow, 1972, 1975). La taille diminue lorsque les conditions deviennent plus douces et/ou plus sèches, mais augmente quand les conditions sont plus chaudes et/ou plus humides.

Les contacts entre individus augmentent et déclenchent des transformations morphologiques, anatomiques et physiologiques (Benichou-Redouane et Fuzeau-Braesch, 1982 ; Duranton *et al.* 1987 ; Steedman, 1988 ; Launois-Luong et Popov, 1992), avec l'intervention de stimuli nerveux et de voies humorales imparfaitement connues (Chapman et Joern, 1990) selon les tableaux 5 et 6.

Tableau 5. Modifications liées à la transformation phasaire chez *Locusta migratoria*.

Transformations morphologiques	Transformations anatomiques et biologiques	Transformations physiologiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- les grégaires sont de plus petite taille.</li> <li>- Les ailes des grégaires sont plus petites.</li> <li>- La carène médiane du pronotum est arquée chez les solitaires et presque plane chez les grégaires.</li> <li>- Les solitaires sont de couleur verte ou brune alors que les grégaires sont de couleur orange maculée de noir.</li> <li>- Le rapport fémur/élytre est supérieur à 2 chez les grégaires.</li> <li>- Le rapport Fémur/largeur céphalique est supérieur à 3,3 chez les grégaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le nombre moyen d'ovarioles diminue de 19 % (de 106 à 86), et le nombre moyen de tubes séminifères diminue de 10 % (de 294 à 264) chez les grégaires.</li> <li>- 4 générations annuelles en phase solitaire et 3 en phase grégaire.</li> <li>- Les grégaires volent plus longtemps et plus loin que les solitaires. Ils utilisent de plus des systèmes de vents différents.</li> <li>- les grégaires occupent une aire géographique plus étendue que celle des solitaires. Ces derniers sont plus exigeants vis-à-vis de leur environnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les grégaires ont un métabolisme plus élevé que les solitaires.</li> <li>- ils produisent des œufs plus gros et en nombre inférieur.</li> <li>- il existe une tendance à la synthèse d'hydrocarbures très condensés chez les solitaires par rapport aux grégaires. Les esters aliphatiques des cires cuticulaires sont plus lourds chez les solitaires (produits en C18) par rapport aux grégaires (produits en C16).</li> <li>- les grégaires possèdent moins d'octopamine que les solitaires.</li> </ul>

Tableau 6. Principaux effets de l'augmentation des densités sur *Locusta migratoria*.

Larves à l'éclosion	Larves	Adultes
<ul style="list-style-type: none"> <li>.Poids et taille +</li> <li>.Teneur en eau 0</li> <li>.Réserves nutritives +</li> <li>.Vitalité +</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.Mélanine +</li> <li>.Insectorubine +</li> <li>.Métabolisme respiratoire +</li> <li>.Activité +</li> <li>.Taux de développement +</li> <li>.Nombre de stades larvaires 0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.Taille des mâles -</li> <li>.Taille des femelles -</li> <li>.Activité +</li> <li>.Taux de maturation -</li> <li>.Nombre d'ovarioles -</li> <li>.Nombre d'œufs par ponte -</li> <li>.Nombre de pontes par femelle</li> <li>.Nombre total d'œufs pondus -</li> <li>.Viabilité des œufs -</li> </ul>

+ : augmentation ; - : diminution ; 0 : aucun effet.

### 6- Régime alimentaire et dégâts du criquet migrateur

Le criquet migrateur *Locusta migratoria* a un régime principalement composé de Graminées. Dans les deltas du sud de l'URSS d'après Uvarov (1923), *L. m. migratoria* se nourrit en

premier lieu de *Phragmites communis*, et en second lieu des autres Graminées. Pour *L. m. manilensis*, le rôle des roseaux *Imperata exaltata* en Chine du Nord a été souligné par Uvarov (1936), ainsi que celui de la canne à sucre *Saccharum spontaneum* dans les brûlis de Bornéo et des Philippines. Dans une étude sur *L. m. capito* à Madagascar, Zolotarevsky (1933) indique la préférence de ces insectes pour *Heteropogon contortus*, *Cymbopogon rufus* et surtout *Cynodon dactylon*. Il note aussi un régime graminivore pour *L. m. migratorioides* d'Afrique tropicale (Zolotarevsky, 1934), en faisant remarquer que l'insecte fait un choix entre les différentes espèces. En effet, le riz n'est pas attaqué quand il est dispersé en petits champs entourés de nombreuses graminées sauvages.

Uvarov (1923) mentionne bien des attaques de *L. m. migratoria* sur d'autres plantes, mais elles ne constituent jamais la nourriture fondamentale du criquet. Les vieilles feuilles de bananier sont parfois mangées par *L. m. migratoria*, mais seulement en l'absence de graminées vertes (Zolotarevsky, 1934).

Le criquet migrateur des Landes de Gascogne *Locusta migratoria gallica* est oligophage : son alimentation est également en grande partie à base de graminées. Les dégâts causés à d'autres familles consistent principalement en cisaillements des parties charnues. Ces dégâts semblent nettement déterminés par le besoin en eau de l'insecte. Les plantes cultivées les plus gravement atteintes sont les céréales et surtout le maïs (Couturier *et al.*, 1946 ; Chaboussou *et al.*, 1947 ; Chaboussou *et al.*, 1948). Tous les organes, feuilles, tiges, épis mâles, épis femelles à l'exception des parties desséchées, étaient dévorées après le passage d'une bande de larves et d'un essaim d'ailés. Le millet et le sorgho étaient beaucoup moins consommés (Couturier *et al.*, 1946). L'avoine et le seigle échappant plus souvent aux dégâts, leur récolte survenant avant les déplacements par vol. En juillet 1946, d'autres plantes ont été souvent attaquées : pieds de haricots complètement dévorés, pétioles et nervures des courgettes sectionnés, feuilles de betteraves déchiquetées, tiges de jeunes choux coupées, et attaques sur Composées et Iridacées sauvages.

## II. Zonage topographique, écologique et biogéographique de l'Algérie

L'Algérie couvre une superficie de 2 381 741 Km<sup>2</sup>. Deux chaînes montagneuses importantes, l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud, séparent le pays en trois types de milieux qui se distinguent par leur relief, leur morphologie et leur climat, donnant lieu à une importante biodiversité écologique. On distingue successivement :

- le littoral et la zone Tellienne au nord qui plonge vers la mer Méditerranée,
- les Hauts Plateaux et la Steppe compris entre l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud,
- le Sahara.

### 1- Le cadre topographique

#### 1-1- Le littoral et le système tellien

L'Atlas Tellien et la zone littorale occupent seulement 4 % de la surface du territoire avec une prédominance montagneuse et une succession de plaines fertiles. Cette zone est bordée au nord sur 1200 Km par la mer Méditerranée. Le système Tellien est un ensemble constitué par une succession de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux, et de plaines.

On distingue du nord au sud et selon l'altitude :

- les plaines littorales qui s'adosent à la première chaîne montagneuse et constituent, à cause de cette barrière, la frange qui bénéficie directement du climat méditerranéen et de sa régulation thermique,

- les plaines intérieures déjà continentalisées par la première chaîne tellienne,
- les montagnes qui se dressent de façon massive dans la partie est et centre du pays.

Le Tell Occidental est ordonné en alignements alternés de massifs, de hauteur moyenne, dominés par des dépressions représentées par les basses plaines oranaises et la plaine du bas Chélif.

Le Tell Central est constitué par une chaîne de massifs prolongeant le Tell Occidental. On y retrouve les monts du Zaccar, de l'Atlas Blidéen et les massifs du Djurdjura dont l'altitude culmine à 2300 m. La bordure littorale est dominée par une grande dépression formant la riche plaine alluviale de la Mitidja.

Le Tell Oriental est la partie la plus montagneuse de l'Algérie. On distingue les chaînes Telliennes littorales représentées par les massifs de Collo, Skikda et de l'Edough. Ces massifs bordent la basse plaine d'Annaba où se trouvent les deux plus grandes zones humides d'eau douce : le lac Tonga et le lac Oubeira. Plus au sud, on retrouve les chaînes Telliennes externes constituées par les monts des Babors et les massifs de Petite Kabylie. Les chaînes Telliennes internes, ensemble du domaine atlasique, sont dominées par les monts du Hodna, du Belezma, le massif des Aurès (2328 m d'altitude) et les monts des Némemchas.

### 1-2- Les hautes plaines steppiques

Elles sont localisées entre l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud, à des altitudes plus ou moins importantes de 900 m à 1200 m. Elles sont parsemées de dépressions salées, chotts ou sebkhas. Les steppes occidentales sont constituées des Hautes Plaines sud Oranaises et sud Algéroises, dont l'altitude décroît du Djebel Mzi à l'ouest (1200 m) à la dépression salée du Hodna au centre. Les steppes orientales se rencontrent à l'est du Hodna et sont formées par les Hautes plaines du sud Constantinois, bordées par le Massif des Aurès et des Némemchas.

### 1-3- Le Sahara

Le Sahara forme une large barrière qui sépare le domaine méditerranéen au nord du domaine tropical au sud. Il est constitué des plateaux des hamadas et du Tassili, où le massif volcanique du Hoggar culmine à 3000 m d'altitude, de plaines (regs et ergs) et de dépressions (sebkhas et gueltas).

L'Erg occidental long de 500 Km et large de 150 à 250 Km fait partie des grands ensembles dunaires sahariens. Les dépressions sont soit salées (chotts et sebkhas) soit peu ou pas salées où s'accumulent les eaux de ruissellement (dayas).

## 2- Le bioclimat

L'Algérie est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude. Le climat est de type méditerranéen extra-tropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines, et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien. Le climat en Algérie a été caractérisé (Nedjraoui, 2003), en se référant aux données de 1913-1938 pour l'ensemble du pays (Seltzer, 1946), celles de 1926-1950 pour les stations sahariennes (Dubief, 1950-1963), ainsi que celles de 1913 à 1961 pour la carte pluviométrique de l'Algérie Septentrionale (Chaumont et Paquin, 1971).

### 2-1- La pluviosité

Les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle. Djellouli (1990) attribue cette variabilité à l'existence d'un gradient longitudinal et un gradient

latitudinal. En effet, la pluviosité augmente d'ouest en est en raison de deux phénomènes. A l'ouest, la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas marocain agissent comme un écran et éliminent ainsi l'influence de l'Océan Atlantique. A l'est, les précipitations sont plus fortes à cause des perturbations pluvieuses au nord de la Tunisie.

Par ailleurs, la diminution de la pluviosité du littoral vers les régions sahariennes est due à la grande distance traversée par les dépressions, lesquelles doivent affronter sur leur parcours les deux chaînes atlasiques. En outre, il existe un gradient altitudinal universel qui varie en fonction de l'éloignement de la mer. De novembre à décembre, les pluies sont importantes et l'Atlas Tellien est plus arrosé que le littoral et les Hauts Plateaux. En été, les pluies sont rares et se produisent davantage sur le littoral que partout ailleurs. En automne, le régime des pluies est quasiment le même sur l'Atlas Tellien et les Hauts Plateaux.

## 2-2- Les températures

La moyenne des températures minimales (m) du mois le plus froid est comprise entre 0 et 9 °C dans les régions littorales et entre - 2 et + 4 °C dans les régions semi-arides et arides. En hiver, les Hauts Plateaux steppiques sont plus froids que l'Atlas Tellien, le littoral et le Sahara. Le mois de janvier est le plus froid de l'année. Il est à noter la grande amplitude de variation de la température (8,7°C) en allant du nord au sud.

En été, les températures restent assez voisines. La moyenne des températures maximales (M) du mois le plus chaud varie avec la continentalité (Nedjraoui, 2003). Elle est de 28°C à 31°C sur le littoral, de 33°C à 38 °C dans les Hautes Plaines steppiques, et supérieure à 40°C dans les régions sahariennes. On peut dire qu'en été le climat de l'Atlas Tellien ne se différencie pas fortement de celui des Hauts Plateaux.

En été et en hiver, le littoral jouit de l'effet adoucissant de la mer, mais cet effet s'estompe dès que l'on pénètre de quelques kilomètres à l'intérieur des terres.

## 2-3- Les étages bioclimatiques

Les étages bioclimatiques en Algérie sont représentés par tous les bioclimats méditerranéens, depuis le per-humide au Nord jusqu'au per-aride au Sud, et depuis le froid jusqu'au chaud pour les variantes thermiques. On distingue selon Nedjraoui (2003) :

- le per-humide, 1200 - 1800 mm,
- l'humide, 900 - 1200 mm,
- le subhumide, 800 - 900 mm,
- le semi-aride, 300 - 600 mm,
- l'aride, 300 - 100 mm,
- le saharien, < 100 mm, qui occupe 89,5 % de la superficie totale.

## 2-4- Les étages bioclimatiques érémiques (figure 8)

En dehors des indices xérothermiques habituels (Bagnouls et Gaussen, 1953) qui n'amènent aucun élément de ségrégation (Barry et Celles, 1972-1973) et réunissent dans un même bioclimat des pays à flore et à végétation difficilement homologues, le plus remarquable critère est l'occupation du terrain par la végétation liée essentiellement au facteur humidité (Monod, 1957). Jusqu'à l'isohyète 50 mm, c'est l'étage méditerranéen à steppe buissonneuse dense. En deçà, et jusqu'à l'isohyète 30 mm, c'est l'étage érémiq ue méditerranéen (= érémiq ue inférieur) à steppe buissonneuse diffuse.

En dessous de l'isohyète 30 mm, la végétation est une steppe désertique de type contractée. Trois étages se partagent le Sahara, entre 0° et 6° de longitude, modulés par l'influence méditerranéenne et le front tropical (Barry *et al.*, 1976) : l'érémiq ue saharien (ou supérieur) sans arbre, l'érémiq ue moyen tropical et l'érémiq ue tropical. Le plus xérique de tous est l'étage érémiq ue saharien. Il se déploie autour des massifs sahariens et se prolonge dans la

dépression de Laouni - In Guezzam. L'étage érémiqne moyen tropical englobe la totalité des massifs centraux : Mouydir, Ahnet, Tedfest, Ahaggar. Les pluies essentiellement tropicales sont irrégulières sauf en altitude selon Dubief (1959, 1963, 1971). L'étage érémiqne tropical n'est représenté en Algérie que dans la région la plus méridionale à la frontière avec le Mali.

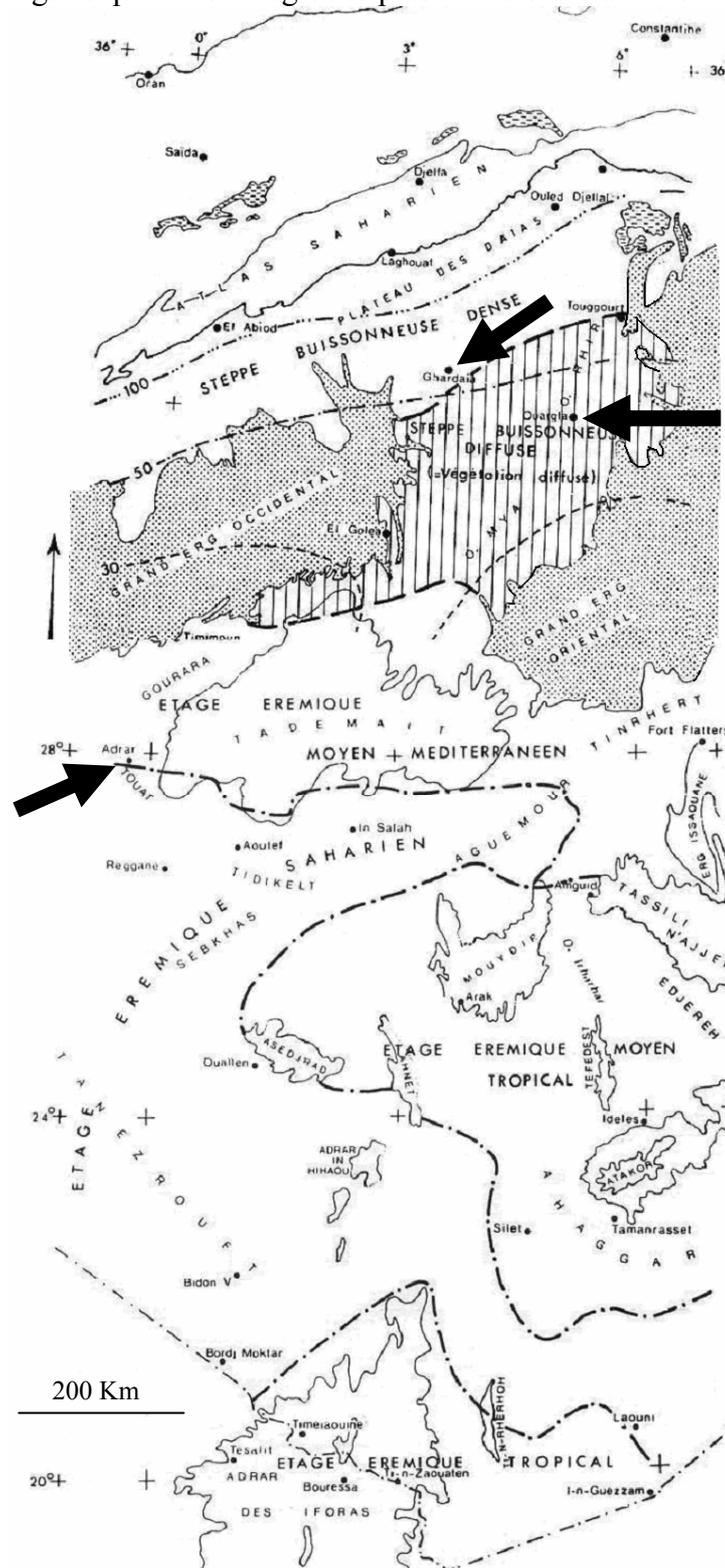


Figure 8. Etages bioclimatiques dans le Sahara algérien (d'après Barry et Celles 1976, modifié). Les trois flèches grasses indiquent l'emplacement des 3 régions d'étude : Ghardaia, Ouargla et Adrar.

## 2-5- le climat saharien

### 2-5-1- la pluviosité

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien. Cependant, des pluies diluviennes peuvent aussi se produire au Sahara. En septembre 1950, Tamanrasset a reçu 44 mm en trois heures alors que sa moyenne annuelle est de 40 mm.

Certaines régions sont arrosées de façon très irrégulière : les Touareg affirment que la période privée de pluie peut atteindre trois ans au Tademaït, cinq ans au Hoggar et dans le Mouydir.

### 2-5-2- les températures

Le climat thermique est assez uniforme; les étés du Sahara septentrional ne sont guère moins torrides que ceux de la zone centrale. Juin, juillet et août sont les mois les plus chauds des zones septentrionale et centrale. Juillet est le mois le plus chaud avec, en année normale, une moyenne des maxima quotidiens comprise entre 40°C et 46°C, selon les localités. Les plus hautes températures ont été observées à In Salah avec 56°C et à Tindouf avec 59°C.

En hiver, il gèle presque partout. Les températures les plus basses enregistrées atteignent -7°C à Tamanrasset, - 6°C à Béchar et à Béni-Abbès.

L'amplitude des variations thermiques annuelles, qui est l'une des particularités du climat des déserts chauds, peut dépasser 55°C au Sahara. En outre, l'amplitude quotidienne, c'est-à-dire la différence entre le maximum diurne et le minimum nocturne, dépasse souvent 35°C.

### 2-5-3- Le vent

Le vent est l'autre caractéristique permanente du Sahara. Par sa situation dans l'hémisphère boréal, le Sahara est soumis, au sol, à des vents dominants orientés du nord-est au sud-ouest. Mais, localement, le vent peut provenir de directions sensiblement différentes: du sud ou du sud-ouest au Sahara central, de l'est au Sahara méridional.

### 2-5-4- L'humidité de l'air et l'évaporation

Le degré hygrométrique de l'air, ou humidité relative, oscille en été entre 4 % et 20 % dans la région centrale. Le Sahara septentrional est plus favorisé avec 20 % à 30 % en été et 50 % ou 60 % en janvier. En rapport avec celles des températures, des variations quotidiennes se produisent : l'humidité relative est généralement minimale vers 15 heures et maximale vers 6 heures, au lever du soleil.

L'évaporation atteint des valeurs considérables. Dans le cas théorique d'une nappe d'eau découverte, alimentée en permanence, la hauteur moyenne d'eau évaporée annuellement serait de 3 à 5 m, selon les localités, au Sahara algérien.

## *3- Les zones agroécologiques*

Il est possible de définir les zones agroécologiques de l'Algérie en fonction des facteurs climatiques et des facteurs édaphiques (Djellouli, 1990 ; Cadi, 2001 ; Smadhi, 2001).

### 3-1- La végétation naturelle

Du Nord au Sud de l'Algérie, nous passons des forêts, maquis et matorrals aux steppes semi-arides et arides puis vers les écosystèmes désertiques, suivant des tranches pluviométriques (fig. 9).

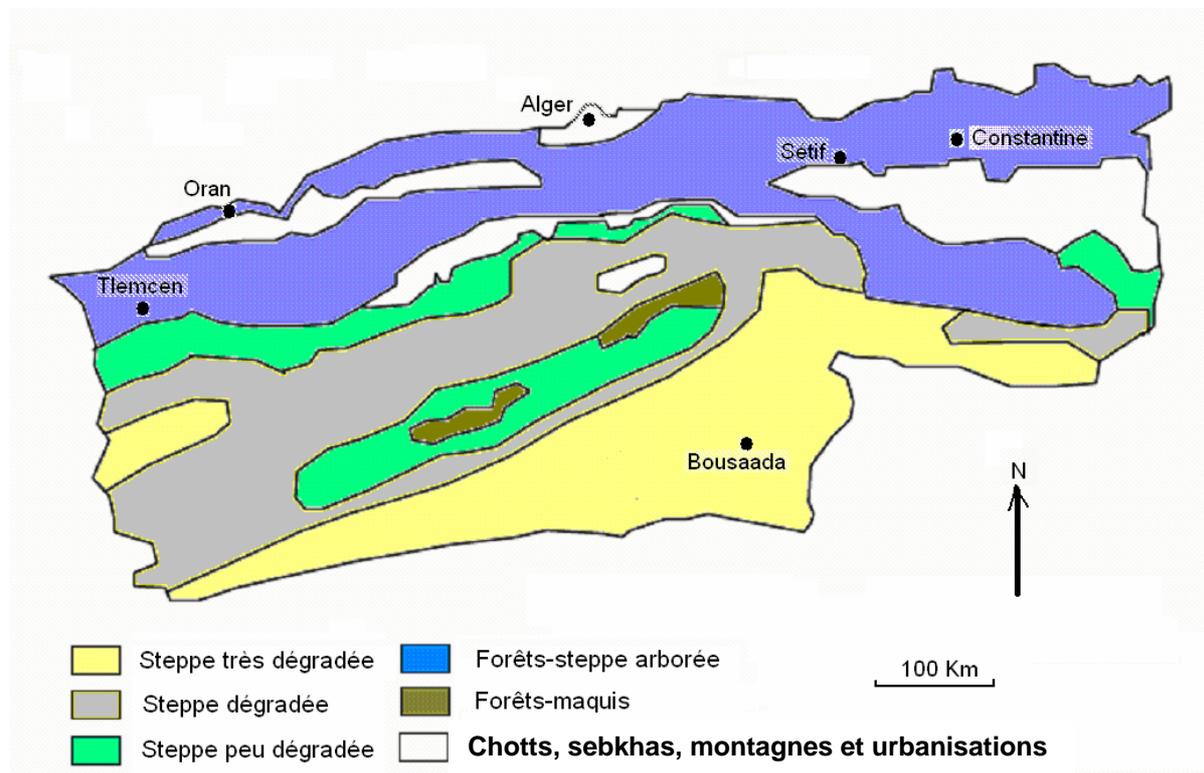


Figure 9. Zones écologiques de l'Algérie (Salamani in Nedjraoui, 2003, modifié).

### 3-1-1- Tranches pluviométrique des étages les plus humides

L'étage per-humide est représenté par des zones de superficies ne dépassant pas 300 ha, entre 800 et 2000 m d'altitude. Ces zones sont situées au niveau de l'Atlas Tellien où se développent le sapin de Numidie (*Abies numidica*), le tremble (*Populus tremula*), le chêne liège (*Quercus suber*) et le cèdre (*Cedrus atlantica*).

L'étage humide est dominé en altitude dans les régions du nord est par les forêts à *Cedrus atlantica* et différentes chênaies (*Quercus faginea*, *Quercus suber* et *Quercus afares*).

L'étage subhumide couvre la partie septentrionale d'ouest en est de l'Atlas Tellien sur lesquelles se développent les forêts à *Quercus rotundifolia* et *Pinus halepensis*.

### 3-1-2- Tranche pluviométrique du semi-aride

On retrouve la zone semi-aride supérieure (400 – 600 mm) qui correspond aux forêts, maquis et matorrals plus ou moins dégradés des sommets et versants nord de l'Atlas Saharien. *Quercus rotundifolia*, le thuya *Callitris articulata* et l'olivier lentisque sont les plus représentés au nord-ouest, et *Pinus halepensis* en altitude.

La zone sub-steppique du semi-aride (300 – 400 mm) est caractérisée par la disparition des espèces forestières et l'apparition des espèces steppiques comme l'armoise *Artemisia herba alba*, l'alfa *Stipa tenacissima* et le sparte *Lygaeum spartum*. Il s'agit de zones de parcours qui sont en compétition avec la céréaliculture au niveau des dépressions. Elles sont situées au nord des Hautes Plaines algéro-oranaises, sur le versant sud des Aurès, des Monts des Ouled Naïls et des Némemchas.

### 3-1-3- Tranche pluviométrique de l'aride

On retrouve dans cet étage bioclimatique, la tranche pluviométrique située entre 100 et 300 mm qui correspond à la région des steppes méridionales arides et présahariennes. Ces steppes sont caractérisées par une réduction importante du couvert végétal, sur des sols squelettiques très dégradés.

La zone sud de l'Atlas Saharien (< 100 mm) est caractérisée par une végétation contractée et localisée dans les lits d'oueds. Cette végétation est de type hygrophile et psammophile, endémique et très adaptée aux conditions xériques. On retrouve des pâturages à base d'espèces graminéennes telles que *Aristida pungens* et *Panicum turgidum* et également d'*Acacias spp.*

### 3-2- Eléments de la flore saharienne

La vaste région désertique est située entre l'Holarctis, dont fait partie la région méditerranéenne, et la Palaeotropis. Elle s'étend de la côte atlantique du Sahara occidental, en traversant l'Afrique, le Proche et le Moyen Orient jusque dans le Sind (nord ouest de l'Inde), d'où le terme de région saharo-sindienne. Cette région est actuellement rattachée par tous les biogéographes à l'Holarctis, et recouvre l'ensemble du Sahara Septentrional et Central (Ozenda, 1991). La flore du Sahara Algérien comprend donc un élément saharo-sindien largement prédominant dans le nord et dans le centre, auquel s'ajoutent des pénétrations méditerranéennes dans le Sahara Septentrional. On distinguera ainsi dans l'ensemble saharo-sindien, un sous-groupe saharien constituée d'espèces dites endémiques du Sahara. Les genres *Fredolia* et *Foleyolla* sont endémiques du sud oranais, et une vingtaine d'espèces au moins sont endémiques de chacun des massifs du Hoggar.

En ce qui concerne le domaine du Sahara Central, trois secteurs s'opposent par l'absence ou la présence d'espèces phanérophytes et par la distribution de grands ensembles floristiques, telles que la savane désertique à *Acacia – Panicum* et la forêt-steppe à *Tamarix articulata*. On retrouve un secteur des basses plaines et dépressions sahariennes, un secteur des plaines sahariennes et un secteur des basses montagnes sahariennes qui se raccordent de 1500-1600 m à l'étage inférieur (jusqu'à 2400 m) du domaine des Hautes Montagnes du Sahara Central. Pour le domaine du Sahara Septentrional et une partie du domaine du Sahara nord occidental, un secteur saharien s'oppose au secteur de la bordure saharienne par la substitution d'un cortège d'espèces saharo-sindiennes ou de liaison sino-angolane, à un cortège d'espèces méditerranéennes (Barry et Celles, 1972-1973).

### 3-3- Végétation saharienne proprement dite

#### 3-3-1- Végétation des Ergs

Ce milieu est essentiellement caractérisé par la dominance de *Aristida pungens* associé à une végétation arbustive formée par *Ephedra alata*, *Retama retam*, *Genista saharae* et *Calligonum azel* (Maire, 1926). Parmi les plantes herbacées, *Cyperus conglomeratus* et *Moltkia ciliata* sont les plus abondantes, pouvant être accompagnées par une graminée endémique *Danthonia fragilis* (Guinet, 1954). Dans les accumulations sableuses peu épaisses, d'autres *Aristida* sont accompagnées d'espèces de sols rocailleux comme *Cotula cinerea* et *Euphorbia guyoniana* (Quézel, 1954).

#### 3-3-2- Végétation des Regs

Les regs sont généralement nus dans le Sahara Central, où ils constituent le milieu le plus pauvre, pouvant être considéré comme abiotique sur de vastes étendues (Ozenda, 1991). On peut distinguer sur les regs caillouteux un groupement pauvre en espèces, dominé par la Chénopodiacée *Haloxylon scoparium* (Guinet, 1954), quelques Plantains et Asphodèles. Sur les regs argilo-sableux, on rencontre une formation à *Cornulaca monocantha* associée à une Résédacée buissonnante, *Randonia africana*, et présentant surtout des faciès sableux transitant vers la végétation d'ergs.

### 3-3-3- Végétation des Hamadas et sols rocheux

Elle est caractérisée essentiellement par la présence de *Fagonia glutinosa* et *Fredolia aretioides*, groupement pouvant être remplacé par la steppe à *Haloxylon scoparium*, sur des sols en pente (Sauvage et Guinet ; in Ozenda, 1991).

### 3-3-4- Végétation des Dayas

La région des dayas est délimitée par les géographes depuis le Bassin de l'Oued Djedi à l'est de Laghouat jusque dans la région de El Abiod Sidi Cheikh, à l'ouest. Le groupement caractéristique de ces fonds est l'association à *Pistacia atlantica* et *Zizyphus lotus*. Des dépressions plus petites portent une association arbustive dominée par une Crucifère épineuse *Zilla macroptera*, ainsi que les Composées *Launaea arborescens* et *Bubonium graveolens*, des Papilionacées comme *Lotus jolyi* et enfin des Euphorbes et des Asphodèles (Guinet, 1954).

### 3-3-5- Végétation des vallées et lits d'Oueds

Les vallées sèches, à fond caillouteux ou limoneux, sont caractérisées par une formation à *Acacia spp.* et à *Panicum turgidum*, dans l'ensemble du désert. Dans le Sahara Central, cette formation atteint son plein développement et sa plus grande richesse floristique (Maire, 1943). Sur le versant méridional du Hoggar, elle cède la place à des éléments plus tropicaux (Quézel, 1954). Dans les vallées conservant l'humidité, il s'établit une formation arborée caractérisée par *Tamarix articulata* avec une forte proportion de plantes halophiles, *Salsola* et *Zygophyllum*. Au Sahara Central, le Tamaris est associé à des Chénopodiacées (*Atriplex halimus* et *Salsola foetida*) accompagnées d'espèces psammophiles parmi lesquelles *Aristida* peut devenir abondant (Maire, 1943 ; Quézel, 1954).

### 3-3-6- Végétation des Chotts

On distingue sur les sols salés un peu secs une association de composition assez instable : de pseudosteppe à *Salsola foetida* (Guinet, 1954), cette association passe à la formation à *Tamarix*. Aux points où la salure diminue, ces espèces sont remplacées par *Atriplex halimus*, indicatrice de compatibilité avec la plupart des cultures.

Les chotts ont été signalés dans des terrains à nappe phréatique salée, à In Salah, et dans des oueds entre le Hoggar et le Tassili des Ajjer (Maire, 1943), au bord des sebkhas à Timimoun et d'El-Goléa (Guinochet et Quézel, 1954). On y retrouve plusieurs espèces de *Tamarix*, *Atriplex halimus*, *Suaeda fruticosa* et *S. vermiculata* ainsi que des *Zygophyllum* et des *Frankenia*.

### 3-3-7- Végétation des Oasis

On peut observer dans les oasis d'après Ozenda (1991), des groupements rudéraux et messicoles, comprenant des plantes sahariennes et des espèces adventices, accidentellement introduites par l'homme.

## 3-4- Les terres agricoles

La surface agricole utile (SAU) se répartit au nord, au niveau des plaines littorales et sublittorales. Elle se répartit au sud au niveau des zones agropastorales, dans les vallées d'Oueds et dans les oasis. L'agriculture oasienne est fortement dominée par la phoeniciculture, activité très développée dans les régions sahariennes (tableau 7).

Tableau 7. Répartition de la surface agricole utile en % (Ministère de l'Agriculture, 2000).

Terres labourables	Jachères		46
	Cultures herbacées	Céréales	82
		Fourrages	18
Pâturages			72
Cultures pérennes	Plantations fruitières		5,6
	Vignoble		0,9
	Prairies naturelles		0,4
Surfaces irriguées	Arboriculture		443 000 ha/an
	Cultures maraîchères		
	Cultures céréalières		

### 3-5- L'agriculture saharienne

L'extension des cultures au Sahara étant fonction des possibilités d'irrigation, l'étendue des surfaces cultivées est nécessairement très réduite (Ozenda, 1991). Dans le Sahara septentrional, la culture dominante est le palmier dattier et l'oasis, dans laquelle sont établies accessoirement des cultures fruitières ou maraîchères. L'eau utilisée peut provenir des crues des oueds, des foggaras, des sources artésiennes ou des puits.

Les plantes cultivées au Sahara sont très variées, dont le palmier dattier qui fournit l'essentiel de la nourriture de la population, et la seule culture donnant lieu à un commerce d'exportation. Deux tiers des palmiers dattiers se trouvent dans le sud Algérien (Ozenda, 1991). Une dizaine d'espèces d'arbres se rencontrent dans les oasis, dont le plus important est l'Abricotier. Viennent ensuite, le figuier, le grenadier, l'olivier cultivé dans les oasis du nord, les orangers, citronniers, caroubiers, et enfin la vigne, encore plantée dans la partie septentrionale.

Les blés du Sahara (Erroux, 1953) sont représentés par des blés tendres, *Triticum vulgare var. oasicum*, *T. spelta var. saharae* ; et des blés durs qui vont dans le Sahara méridional, jusqu'au 12° degré de latitude. L'orge *Hordeum vulgare*, le sorgho représenté par plusieurs variétés, ainsi que le Mil perlé *Pennisetum americanum*, sont cultivés un peu partout dans le Sahara central et méridional.

Les plantes potagères comme la fève, le pois et un degré moindre la lentille et le pois chiche, sont assez répandues. Les Cucurbitacées, notamment la courge, le potiron, la pastèque et le melon, fournissent une part importante des cultures potagères. L'ail est assez répandu. Des Ombellifères (cumin, fenouil, coriandre) sont cultivées comme condiments ainsi que les piments et le câprier.

## III. Présentation des régions d'étude

### 1- Situation géographique et reliefs (fig. 8)

#### 1-1- Région d'Adrar

Située au sud ouest de l'Algérie, à 1500 Km de la capitale Alger, Adrar couvre une superficie de 427 971 Km<sup>2</sup>. Elle se limite au nord par la région de Béchar, à l'est par les régions de Laghouat et de Tamanrasset, et au sud par les républiques du Niger et du Mali (Anonyme, 1982).

Les Ergs couvrent les ¾ de la superficie de la région. L'Erg Chech occupe plus de 50 % de la superficie de la région de Reggane, 40 % de la région de Ouargla et plus de 10 % de la région de Timimoun. Le Tanezrouft couvre la partie sud de Reggane et présente une variété de formations dunaires. Le Grand Erg occidental, vaste espace sableux, couvre une grande partie de la région de Timimoun, jusqu'à l'oasis de Tinerkouk. Au nord, il se sépare de l'Erg Raoui, continuation de l'Erg Chech par l'oued Saoura.

Les plateaux sont limités à l'ouest par la Hamada Sefra, situé à l'ouest de l'Erg Chech, dans la région de Reggane, au nord ouest par le plateau Tabelbala et à l'est par le plateau de Tadmaït. Le Touat–Gourara correspond à un couloir qui s'étend jusqu'à Reggane et devient limitrophe avec la plaine du Tidikelt à l'est et le Tanezrouft au sud. Il prend place entre le plateau de Tadmaït et les ergs (Grand Erg Occidental, Erg Erraoui, et Erg Chech), formant sur plus de 400 000 Km<sup>2</sup> un espace d'aspect désertique qui abrite cependant un chapelet d'oasis et de vieux ksours, alignés selon une disposition nord-est sud-est, en arc de cercle, le long de l'oued Saoura et à la périphérie sud du Grand Erg Occidental. C'est surtout dans cette région, que l'installation de l'homme et les activités agricoles se sont relativement développées. La vaste plaine du Tidikelt, formée d'immenses regs plats, sépare le plateau de Tadmaït au nord, de la région de l'Ahaggar au sud.

### 1-2- Région de Ouargla

Ouargla est l'une des principales oasis du sud Algérien, se trouvant à 157 m d'altitude, à 800 Km au sud est d'Alger, à 5°20' E de longitude et 31°58' N de latitude (Rouvillois-Brigol, 1975). Elle est limitée au Nord par les régions de Djelfa et El Oued, à l'est par la Tunisie, au sud par les régions de Tamanrasset et Illizi, et à l'ouest par la région de Ghardaïa (Anonyme, 1995).

La cuvette de Ouargla, d'une superficie de 163 233 Km<sup>2</sup>, se trouve dans le bassin versant de l'Oued Mya dont les extrémités sont représentées à l'ouest par Bamendil et Mekhadma, au Nord par Bour El Haïcha, à l'Est par Sidi Khouiled et Hassi Ben Abdellah, et au sud par Béni Thour, Aïn Beïda et Rouissat.

Le relief est caractérisé par une prédominance de dunes, et revêt un aspect tabulaire aux strates parallèles. D'après l'origine et la structure des terrains, on peut distinguer trois zones (Passager, 1957) : à l'ouest et au sud, des terrains calcaires et gréseux forment des terrains déshérités où poussent exceptionnellement quelques touffes d'*Aristida pungens*; à l'est, se trouve une zone pauvre en points d'eau, caractérisée par le synclinal d'Oued Mya; à l'est et au centre, le grand Erg Oriental occupe près des trois quarts de la surface totale.

### 1-3- Région de Ghardaïa

Ghardaïa se situe au centre de la partie du nord de Sahara, à 600 Km au sud d'Alger, occupant une position centrale reliant les Hauts Plateaux avec le Sahara. Ses coordonnées géographiques sont 3° 40' de longitude Est et 32° 29' de latitude Nord et son altitude est de 530 m. Elle est limitée du côté nord par la région de Laghouat (200 Km), du nord est par la région de Djelfa (300 Km), de l'est par la région de Ouargla (200 Km), du sud par la région de Tamanrasset (1470 Km), du sud-ouest par la région d'Adrar (400 Km), et de l'ouest par la région d'El-Bayadh (350 Km).

La Wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86 105 Km<sup>2</sup>. Elle est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale. Les escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du M'Zab et autour duquel gravitent d'autres oasis : Berriane, El Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au sud les oasis de Hassi El Fhel et d'El Goléa.

La commune de Hassi El Fhel se trouve dans la dorsale du M'zab. Elle est distante de 120 Km de Ghardaïa et de 150 Km d'El Goléa. Elle est limitée au nord par Mansourah (Wilaya de Ghardaïa), à l'est par Rouissat (Wilaya de Ourgla), au sud par El Goléa (Wilaya de Ghardaïa) et à l'ouest par Brizina (Wilaya d'El Bayed). La région de Hassi El Fhel se compose de trois unités morphologiques : une région centrale de pente très forte, avec une topographie de versant et qui est traversée par deux importantes vallées (Oued El Fhel et Oued Tekhir), une région est de plaine avec de grandes dépressions et une région ouest ensablée.

## 2- Les sols

### 2-1- Région d'Adrar

De part son caractère très aride, le climat influe sur la pédogenèse par la forte évaporation et par le vent. Cette évaporation intense (5000 mm/an) permet des accumulations salines ou gypseuses existant dans certains types de sols. La région d'Adrar est caractérisée par des sols dont le matériau parental est le plus souvent des roches du continental intercalaire, et le plus souvent des formations gréseuses avec des passées argileuses.

Ces sols sont de types minéraux bruts, avec une texture sableuse ou sablo-limoneuse ou encore limoneuse, en présence de gypse. Leur structure est particulière, de faible compacité. D'autres sols, peu évolués, sont caractérisés par une texture généralement sableuse ou sablo-gréseuse, avec une absence presque complète d'humus. Présents dans la région d'Aoulef (plateau du Tidikelt), leur structure est particulière à fondue, en raison de la forte teneur en sable et le faible taux de matières organiques. Enfin, les sols halomorphes dans la région présentent une teneur élevée en sels solubles et en gypse.

Les sols dans le Touat-Gourara sont généralement formés d'aires constituées de couches sédimentaires superficielles dont la fertilité et le pouvoir de rétention en eau et en éléments fertilisants est faible et dont les horizons de surface sont très sensibles à l'érosion éolienne. La formation et l'évolution de ces sols restent conditionnées par le climat et la salinité. Sans mise en valeur, sans apports fréquents d'éléments fertilisants et surtout sans irrigation, il n'est donc point possible de produire dans une telle zone.

Dans le Gourara, les sols sont caractérisés par un horizon tufeux, caillouteux ou gréseux, ou parfois les trois à la fois. La texture y est généralement sableuse, la structure particulière à dégradée (poudreuse). La consistance et la cohésion sont faibles, de même que les teneurs en calcaire et en matières organiques.

Les sols du Touat présentent une texture très grossière avec parfois un horizon tufeux très salé, une structure particulière à fondue, une consistance et une cohésion faibles. Sur le vaste plateau d'Azzi, dans la commune de Zaouiet Kounta, les sols sont de texture grossière et de structure particulière, mais la contrainte la plus importante est celle de la faible épaisseur des sols (Anonyme, 1990).

Les sols dans le Tidikelt sont profonds à moyennement profonds. Ils ont une topographie plane à légèrement ondulée et présentent par endroits des cailloux et des graviers à la surface du sol. Leur structure est le plus souvent particulière à fondue. La matière organique y est inexistante, la consistance et la cohésion sont faibles.

### 2-2- Région de Ouargla

Le sol de la cuvette de Ouargla est sableux, à structure particulière. Comme la majorité des sols sahariens, les sols de Ouargla sont bien aérés, pauvres en fractions organiques et à pH alcalin (Kafi *et al.*, in Hannachi et Khitri, 1991). Le taux de salinité est très important à cause de la remontée des eaux de la nappe phréatique et des eaux d'irrigation chargées en sels. Ils présentent des différences de comportement quant à la capacité de rétention en eau, la salinité et la conductibilité thermique (Demangeot, 1981). La région se caractérise par trois types de sols : les sols sal-sodiques, les sols hydromorphes et les sols à minéraux bruts (Halilat, 1993).

### 2-3- Région de Ghardaïa

A Guerara, située à plus de 110 Km au nord-est du chef lieu de Wilaya, plus de 96 % de la superficie sont situés en pente et sur les plateaux élevés. Les sols dominants sont de type peu évolué d'apport alluvial éolisé. Ils présentent une texture sablo-limoneuse et une structure polyédrique fine à moyenne. Au-delà de 40 cm de profondeur, la texture devient limono-

argilo-sableuse et la structure massive. Une partie de la zone présente des accumulations sableuses en forme de dunes.

A 270 Km plus au sud, 49,7 % des terrains à El Goléa sont en zone de pente et sur les plateaux élevés et 49,99 % sont en zone ensablée. Les sols dominants sont de type peu évolué, d'apport alluvio-colluvial éolisé, avec une texture sableuse à sablo-limoneuse et une absence de structure due à la texture des sables. La profondeur moyenne des sols dépasse 80 cm.

A la suite d'El Goléa, dans la région de Hassi El Gara, les sols dominants sont de type peu évolué d'apport alluvio-colluvial, caillouteux à peu caillouteux, à texture sablo-limoneuse et structure particulière à tendance massive. A partir de 50 cm de profondeur, la texture est la même et la structure devient massive, tandis qu'à Hassi El Fhel (120 Km au sud de Ghardaïa), les sols sont peu évolués xériques éolisés, avec une charge parfois caillouteuse importante. La texture est sablo-limoneuse et de structure particulière. En profondeur, la texture devient sableuse et la structure massive.

### 3- Flore et végétation des régions d'étude

#### 3-1-Région d'Adrar

Les conditions pédoclimatiques très sévères de la région font que la végétation naturelle est très réduite. Sur les plateaux, elle est pratiquement inexistante, sauf dans les petites dépressions à remplissage éolien où l'on trouve quelques rares palmiers isolés et parfois quelques *Tamarix*. Sur les terrasses d'apport éolien, la végétation est assez abondante (tableau 8). Elle est formée de palmiers, quelques végétaux fixateurs de dunes et quelques plantes halophytes qui se raréfient en descendant vers les sebkhas.

Tableau 8 : Principaux groupements végétaux dans la région d'Adrar.

Formations désertiques	Groupements végétaux
Regs	<i>Marrubium deserti</i> (herbacée) <i>Randonia africana</i> (herbacée) <i>Aristida plumosa</i> (Drinn) <i>Ephedra alata</i> (liane) <i>Haloxylon scoparium</i> (arbrisseau)
Hamadas	<i>Fredolia aretioïdes</i> (herbacée vivace) <i>Rhus oxyacantha</i> (arbrisseau) <i>Limoniastrum feii</i> (arbrisseau) <i>Lotus roudeiri</i> (annuelle)
Dayas	<i>Pistacia atlantica</i> (arbre) <i>Ziziphus lotus</i> (Jujubier) <i>Lotus jolyi</i> (herbacée vivace) <i>Anvillea radiata</i> (herbacée vivace) <i>Zilla macroptera</i>
Lits d'oueds et vallées	<i>Acacia tortilis</i> (Acacia) <i>Cassia abovata</i> (arbuste) <i>Cocculus pendulus</i> (herbacée vivace) <i>Calligonum comosum</i> (liane) <i>Calotropis procera</i> (arbrisseau)

#### 3-2- Région de Ghardaïa

Parmi les principales espèces spontanées de cette région (Direction des Services Agricoles, 2002), on rencontre *Artemisia herba alba*, *Asphodelus tenuifolius*, *Bubonium graveolens*, *Colocynthis vulgaris*, *Cotula cinerea*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Ruta tuberculata*, *Randonia africana*, *Zygophyllum gesline album*, *Ammodaucus leucotrichus*, *Haloxylon articulatum*, *Marrubium desertis*, *Matricaria pubescens*, *Rhus tripartitus*, *Capparis spinosa*,

*Cistanche tinctoria*, *Euphorbia guyoniana*, *Peganum harmala*, *Zizyphus lotus*, *Pistacia atlantica*.

### 3-3- Région de Ouargla

La région de Ouargla est caractérisée par une diversité floristique à dominance de quelques espèces vivaces (palmier dattier, *Zygophyllum*, *Tamarix*...). Les espèces du peuplement végétal de la région sont soit des reliques de périodes plus humides qui ont réussi à se maintenir, soit des espèces méditerranéennes ou tropicales qui se sont adaptées au désert grâce à l'apparition de caractères physiologiques ou morphologiques nouveaux.

Un inventaire réalisé par Zerrouki (1996) permet de constater l'existence d'autres espèces appartenant à des familles botaniques différentes, en relation avec les précipitations. On peut citer les Apocynacées représentées par *Nerium oleander*, les Asclépiadacées par *Percularia tomentosa*, les Borraginacées par *Moltkia ciliata* et *Echium trygotium*, les Caryophyllacées par *Gymnocarpos decander* et *Herniaria fontanesii*, les Fabacées par *Genista fabacae*, *Medicago sativa* et *Retama retam*. Les Chenopodiacées, les Asteracées et les Poacées (dont les genres *Aristida*, *Arundo*, *Agropyrum*, *Aeluropus*, *Avena*, *Cutandia*, *Polypogon*, *Phragmites*, *Dantonina* et *Schismus*) sont les familles les plus diversifiées, avec 13, 20 et 14 espèces respectivement. D'autres plantes sont signalées par Ould El Hadj (2002) comme *Thesium humile* (Santalacées), *Limonium delicatum* (Plombaginacées) et *Frankenia pulverulenta* (Frankéniacées).

### 4- Activités agricoles dans les régions d'étude

L'agriculture dans les régions d'étude, reste subordonnée à l'existence de ressources permanentes d'eau d'irrigation. Depuis des milliers d'années, une multitude d'oasis a vu le jour grâce notamment au système des « foggara » qui alimente jardins, palmiers et ksours. C'est le cas aussi pour de nombreux périmètres de mise en valeur modernes qui utilisent des systèmes industriels d'exhaure de l'eau (forages) et des pivots asperseurs pour l'irrigation de milliers d'hectares de terres arides (Sahli, 1994, 1997).

Les ressources hydriques de la zone d'Adrar sont représentées essentiellement par la nappe albiennaise (continental intercalaire) qui alimente en eau toutes les oasis à travers les « foggara », les nouveaux périmètres agricoles et les nouvelles villes de la zone.

La zone d'Adrar est par ailleurs l'une des zones à fortes potentialités agricoles puisqu'il s'y exprime l'essentiel des activités agricoles familiales des « ksours » mais aussi celle des périmètres de mise en valeur (maraîchage de contre-saison, cultures condimentaires, fourrages, légumes secs, arachides...). La production de palmier dattier n'occupe plus qu'une part marginale de la production agricole totale de la Wilaya (moins de 15 %) (Anonyme, 1990).

Le secteur agricole dans la Wilaya d'Adrar a connu une grande extension durant les deux dernières décennies. Les cultures maraîchères, les céréales et fourrages occupent 94 % des sols utilisés, particulièrement dans la zone du Touat – Gourara et la région de Reggane (fig. 10). Le plateau du Tidikelt et la région d'Aoulef n'occupent que 6 % des terres cultivées. Par ailleurs, les daïrates de Fenoughil et de Timimoun situées au nord est d'Adrar, concentrent à elles seules 67 % des palmiers de la Wilaya. Entre 1990 et 1991, les produits maraîchers représentaient plus de 50 % de la production végétale, les fourrages 34 % et les céréales 13 % (DSA Adrar, 1990).



Figure 10. Blé dur irrigué sous pivot (A plein champ et B récolte) ; C : maraîchage sous palmeraie ; D : Sorgho sous pivot avec repousses

Tableau 9. Répartition des superficies (ha) à Adrar, 1990-1991 (DSA Adrar, 1991).

Cultures	Adrar-Fenoughil	Timimoun	Reggane	Aoulef
Maraîchage de plein champ	912,5	1352	2051	372
Céréales	1346	1152	2380,5	265,5
Fourrages	559	630	778,5	108,25
Légumes secs	42,5	54	44	-
Cult. industrielles	109,5	166	207,5	4,5
Cultures condimentaires	25	57,5	-	12,5

Tableau 10. Evolution des superficies et des productions des céréales irriguées sous pivots à Adrar (DSA Adrar, 2003)

Céréales	Blé dur		Blé tendre		Orge	
	Ha	Qx	Ha	Qx	Ha	Qx
87/88	0	0	82	1640	0	0
95/96	4145	114350	470	14420	40	1200
96/97	2496	73980	1578	55230	99	3465
97/98	2640	79200	1010	35280	65	1650
98/99	2482	74400	678	24645	80	2400
99/00	2468	78890	744	23850	136	2500
00/01	1838	57579	1645	47403	-	-
00/02	2247	72434	748	31680	37	4967

Les zones agricoles à Hassi El Fhel, au nombre de trois, d'une superficie de 221 ha, occupent la vallée de l'Oued El Fhel et de son affluent l'Oued El Aouibed.

Tableau 11. Les superficies céréalières (ha) par espèce cultivée à Ghardaïa, 1993-2003 (DSA Ghardaïa, 2003).

Années	Guerara					Berriane				El Goléa				Hassi El Fhel			
	Bd	Bt	Or	Av	Sg	Bd	Org	Av	Sg	Bd	Bt	Or	Av	Bd	Org	Av	Maïs
1993	280	90	60	-	-	-	-	-	-	175	50	50	-	-	-	-	-
1994	310	100	20	-	-	-	-	-	-	100	50	100	-	60	-	-	30
1995	120	60	30	20	-	40	60	-	-	120	50	100	-	90	-	-	-
1996	140	-	60	-	-	65	40	-	-	100	-	130	-	290	-	-	-
1997	293	200	07	08	120	60	50	-	-	85	-	130	25	290	-	-	-
1998	90	90	100	75	-	80	150	-	-	150	-	110	-	282	-	-	-
1999	76	90	67	60	07	25	10	-	-	172	-	110	-	208	-	-	-
2000	61	71	60	30	-	25	05	-	-	230	-	120	-	180	80	-	60
2001	36	30	144	79	-	10	10	-	-	230	-	110	-	250	50	-	-
2002	02	30	125	56	60	-	20	-	10	160	-	104	10	-	150	-	-
2003	01	30	80	20	12	-	20	02	10	200	-	110	-	-	150	-	-

Bd : blé dur, Bt : blé tendre, Or : orge, Av : avoine, Sg : sorgho.

Tableau 12. Superficies cultivées à Ghardaïa en 2001-2002 (DSA Ghardaïa, 2003).

Région	Céréales		Fourrages		Arboricult.		Cult.maraîch		Phoenicult.		Arachides	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
El Goléa	229	8650	300	56973	153	2100	255	38291	1035	39100	10	180
Hassi El Gara	30	900	200	36400	80	1100	98	17664	585	19950	10	180
Hassi El Fhel	106	4000	80	9500	125	1850	95	13148	390	8250	35	630
Guerara	129	2150	290	54091	66	980	150	27850	1415	42780	2	40

Dans la région de Ouargla, l'agriculture ne peut être menée qu'en irrigué avec la nécessité de l'utilisation des brise-vent pour la protection des cultures pratiquées.

Tableau 13. Superficies et rendements en céréales à Ouargla de 1986 à 2003 (DSA, Ouargla, 2003).

année	Blé dur		Blé tendre		Orge		Avoine	
	Sup. (ha)	Prod. (qx)	Sup. (ha)	Prod. (qx)	Sup. (ha)	Prod. (qx)	Sup. (ha)	Prod. (qx)
86-87	-	-	-	-	10	180	52	728
87-8	285	10556	584	26075	72	1601	15	-
88-89	337	11286	331	12289	181	2803	68	-
89-90	692	36240	926	26720	538	1785	92	-
90-91	1347	49240	465	20850	379	7450	152	-
91-92	1384	35420	650	3820	40	465	52	-
92-93	1286	30123	988	21418	-	-	158	375
93-94	1087	30127	1256	24979	133	3290	174	-
94-95	794	12627	1202	32013	314	8380	309	-
95-96	107	1120	1953	36235	61	855	306	-
96-97	48	410	1187	31500	158	2700	237	-
97-98	276	6200	1604	37800	128	3500	316	-
98-99	145	1300	884	29000	210	6500	461	-
99-00	112	3200	1121	35800	417	12500	568	-
00-01	38	1100	336	9500	325	8500	4426	77500
01-02	67	-	336	-	517	-	-	-
02-03	304	-	546	-	253	-	32	-

C'est dans la région de Gassi Touil à 240 Km au sud de Ouargla que se trouvent les deux grandes fermes pilotes de 1000 ha chacune, pratiquant l'irrigation par le système des pivots.

### 5- Climatologie des régions d'étude

Nous relatons pour les 3 localités sahariennes les principaux paramètres climatiques que nous avons pu synthétiser d'après l'Office National de la Météorologie à Dar-Beida (tab. 14A).

Tableau 14A. Paramètres climatiques dans les 3 régions d'étude.

Régions	Période d'obs.	P moy/an (mm)	Températures			Humidité %	Evap. en mm
			m	M	Moyennes		
Adrar	1995-2000	22,53	4,97	46,02	24,54	25,22	525,64
Ouargla	1982-2003	33,9	4,5	43	23,03	43,91	215,8
Ghardaïa	1981-1994	72,04	5,33	39,82	21,0	47,8	-

Les variations mensuelles dans le Sahara concernent essentiellement les températures car les précipitations sont toujours très faibles. A titre d'exemple, nous reproduisons dans le tableau 14B les températures enregistrées à Adrar.

Tableau 14B. Variations mensuelles des températures à Adrar (période 1995-2003)

mois	m°C		Moyenne °C		M°C	
	moy	e-type	moy	e-type	moy	e-type
j	5,57	2,12	12,64	2,92	19,83	4,42
f	7,45	1,37	14,98	2,47	22,33	3,82
m	11,32	1,39	19,22	1,47	26,63	2,71
a	16,70	1,60	24,61	2,31	31,95	3,43
m	21,38	1,14	28,59	3,13	36,78	3,67
j	25,85	1,01	34,10	2,05	41,63	3,45
j	28,68	0,85	37,11	1,99	44,75	3,26
a	28,28	1,36	36,22	2,62	43,72	3,83
s	25,53	1,47	32,74	2,44	39,85	3,67
o	17,55	1,83	24,78	3,01	32,03	4,45
n	11,07	0,58	18,32	1,72	25,58	3,28
d	6,42	1,54	13,26	1,39	20,52	2,93

## IV. Lutte antiacridienne

### 1- Lutte préventive

L'objectif principal de la lutte préventive est d'altérer la tendance évolutive d'une situation acridienne avant d'en subir les effets néfastes (Launois-Luong *et al.*, 1988, Popov *et al.*, 1991). Elle reste essentiellement fondée pour les locustes, sur la surveillance des aires grégarigènes, en dehors des zones de culture, de façon à intervenir précocement et efficacement sur les premières concentrations de criquets et éviter une invasion généralisée.

En octobre 1947, à la suite d'une grave pullulation du criquet migrateur Africain, dans son aire grégarigène sur le Niger, et de l'apparition de quelques essaims de cet acridien au Nigeria, une réunion à Londres d'experts de Belgique, de France et de Grande Bretagne fut convoquée à Londres afin d'indiquer les mesures d'urgence nécessaires pour faire face à une

invasion généralisée. En 1948, un organisme provisoire (le comité international provisoire de prévention acridienne au Soudan Français), a été constitué pour diriger et gérer le service de prévention des invasions du criquet migrateur Africain (Zolotarevsky, 1954 ; Padonou, 1970), en attendant la création d'un organisme définitif qui devint par la suite l'OICMA (Organisation Internationale Contre le criquet Migrateur Africain). Depuis la dissolution en 1986 de l'OICMA, implantée à Madagascar depuis 1948, la lutte préventive contre le criquet migrateur est assurée actuellement par les services de la protection des végétaux des pays concernés (Mason et Mchive, 1990 ; Popov, 1996).

Ainsi dans les aires grégarigènes de *L. migratoria*, le renforcement des réseaux de surveillance par l'utilisation des satellites écologiques et météorologiques permettrait de fournir des indications rapides sur les sites potentiellement favorables de cette locuste. Par ailleurs, dans le cadre d'une optique opérationnelle, la biomodélisation gérée par voie informatique, permet de prévoir 70 % des macro-événements acridiens, selon Duranton et Lecoq (1990) et Launois-Luong et Lecoq (1993).

La lutte écologique, qui est une des formes de la lutte préventive, a pour but de rompre la synchronisation entre le cycle biologique de l'acridien et son environnement, tout en ayant une connaissance approfondie du tempérament écologique de l'espèce. Nombreux auteurs tels que Remaudière (1954) et Têtefort et Wintrebert (1963) ont proposé un meilleur entretien des champs par un désherbage et un binage soignés, ainsi qu'un drainage accéléré des plaines, comme dans la zone d'inondation du fleuve Niger, au Mali. Duranton *et al.* (1982, 1987) préconisent un contrôle des déforestations afin d'éviter la formation des clairières, le semis de plantes répulsives et la suppression des jachères.

On peut citer comme moyens mécaniques la destruction des oothèques par labour, la destruction des adultes et des jeunes larves par abattage, ainsi que le ramassage et écrasement des insectes à l'aube, lorsqu'ils sont peu actifs. La lutte thermique utilise les vertus crématrices du feu.

## 2- Les ennemis naturels de *Locusta migratoria*

L'inventaire des ennemis naturels des acridiens a mis en évidence la grande diversité des taxons impliqués, leurs modes d'action et leurs impacts sur les acridiens. Ils agissent sur la mortalité immédiate (prédateurs) ou différée (parasitoïdes, champignons pathogènes), sur la fécondité des femelles (nématodes) ainsi que sur le temps de développement, les capacités de vol, et les activités alimentaires de l'acridien (Greathead *et al.*, 1994).

### 2-1- Les prédateurs vertébrés

On rencontre parmi les prédateurs vertébrés des criquets : les batraciens, les reptiles, les mammifères et les oiseaux (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994).

L'idée d'utiliser les oiseaux pour lutter contre les Acridiens est très ancienne. Les chinois utilisent depuis des millénaires des canards pour détruire les larves des criquets (Duranton *et al.*, 1982). Différents oiseaux prédateurs des criquets sont connus, tels que les mouettes, les huppes, les corneilles et les corbeaux.

Bien que considérés par Keith et Kevan (1992), comme ayant une activité de « nettoyage » vers la fin des invasions, les oiseaux sont très probablement les prédateurs vertébrés les plus importants des populations des acridiens grégaire. Ils peuvent exploiter cette source de nourriture sur de grandes surfaces et suivre les criquets dans leurs déplacements (Greathead *et al.*, 1994). En Afrique Orientale, Steedman (1988) fait état du nombre de criquets mangés à partir d'un essaim, par 3 espèces d'oiseaux et trouvés dans leurs appareils digestifs. Un total

de 1093 individus a été trouvé dans un même sujet du marabout, contre 309 et 73 criquets consommés par la cigogne blanche et l'aigle respectivement. En Afrique occidentale, Thiollay (1978) montre une bonne corrélation entre le nombre de rapaces migrants et l'abondance de *L. migratoria*.

Les rassemblements d'oiseaux sont parfois spectaculaires, avec plus de 800 milans noirs ou de milliers de faucons sur des essaims. Duhart et Descamps (1963) ont signalé que *Merops nubicus*, *Lissotis melanogaster* et *Chelictinia riocouri* suivent les déplacements des *L. m. migratorioides* et les consomment dans la plaine inondée du Niger.

Concernant l'Algérie, des études sur le régime alimentaire de la cigogne blanche *Ciconia ciconia* près de Drâa BenKhedda (Tizi Ouzou, grande Kabylie) montrent que cette espèce dévore en grand nombre des Caelifères Pamphagidae et Acrididae, comme *Anacridium aegyptium* et *Locusta migratoria cinerascens* (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994). Boukhamza (2000) signale par ailleurs, que le criquet migrateur est présent avec un pourcentage de 0,65 % dans les pelotes de réjection de la chouette effraie *Tyto alba*.

Les hérons garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) adoptent une technique de chasse particulière, balançant la tête de droite à gauche au dessus de leur proie avant de l'attraper, sans qu'elle puisse esquisser le moindre mouvement de fuite. C'est surtout au mois de mai, lorsque le 5<sup>e</sup> stade larvaire de ces espèces acridiennes est atteint, que les captures de *Bubulcus ibis* s'élèvent, alors que ce sont les imagos qui sont plus consommés entre juillet et janvier.

Tableau 15. Fluctuations mensuelles de la consommation de *Locusta migratoria* par le héron garde bœufs en Kabylie d'après Boukrout-Bentamer (1998).

donnée	Période d'hivernage					Période de reproduction						
	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	mars	avr	mai	juin	Juill.	août	Sep.	oct.
n	1	-	-	12		-	-	1	-	-	8	12
n %	1,02	-	-	0,84				0,19			1,39	1,87
na	1	-	-	3				1			1	2
F %	20	-	-	7,69				10			11.1	18.2
N	5	-	-	39				10			9	11

n : nombre de spécimens, n % : nombre d'individus du taxon considéré, NA : nombre d'apparitions, F % : fréquence d'occurrence, N : nombre de pelotes analysées.

Dans la région de Merdja Sidi Abed près de Chlef, *Locusta migratoria cinerascens* présente une constance de 60 % dans le régime alimentaire de *Bubulcus ibis*, selon Setbel (2003). La répartition des criquets est régulière au mois de juin, et elle devient contagieuse en novembre. Entre décembre et janvier, la distribution des *Locusta* dans l'alimentation de *B. ibis* n'est plus qu'aléatoire, alors que de février à mai, cette locuste ne se trouve pas dans les pelotes de réjection du bulbul. Chez les autres vertébrés, parmi les mammifères acridophages, on peut citer : le chacal doré, le renard roux, le chat sauvage et le hérisson. Il est probable que leur action d'ensemble, seuls, n'est que rarement importante (Steedman, 1988).

## 2-2- Les prédateurs invertébrés

Les plus importants appartiennent aux classes des Insectes et des Arachnides (tab. 16). La classe des Insectes comprend un grand nombre de prédateurs parmi les Mantoptera, les Orthoptera, les Coleoptera, les Hymenoptera et les Diptera (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994). On peut citer 3 espèces de Mantinae en Algérie, dont l'aire de répartition s'étend du bord de la Méditerranée jusqu'aux oasis. Ce sont *Sphodromantis viridis*, *Rivetina fasciata* et *Iris oratoria*. Les mantes du Sahara algérien sont des Empusinae, des

Oxythespinae et des Eremiaphilinae (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994). L'espèce *Blepharopsis mendica* est particulièrement commune à Biskra, à Laghouat et près de Ghardaïa (Chopard, 1943).

Tableau 16. Prédateurs invertébrés de *L. migratoria*.

Insectes	Prédateurs des oothèques	Diptères Bombyliidae (Prior et Greathead, 1989)  Coléoptères Trogidae (Prior et Greathead, 1989 ; Steedman, 1988) Diptères Calliphoridae (Keith et Kevan, 1992)	<i>Systoechus spp</i> <i>Anastoechus spp</i> <i>Cytherea spp</i> <i>Trox proceus</i>  <i>Stomorhina lunata</i>
	Prédateurs des larves et des adultes	Diptères Asilidae (Musso <i>et al.</i> , 1978) Hyménoptères Sphecidae (Keith et Kevan, 1992)	<i>Asilus sp</i>  <i>Sphex subfuscatus</i>
Arachnides	Prédateurs des larves et des adultes	Scorpionidés (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994)	<i>Buthus occitanus</i> <i>Scorpio maurus</i> <i>Androctonus mauritanicus</i>

### 2-3- Les parasites et les parasitoïdes

Cette catégorie d'ennemis naturels comprend plusieurs insectes, des acariens, nématodes, protozoaires, bactéries, champignons et virus.

Tableau 17. Parasites et parasitoïdes de *L. migratoria*

Insectes	Parasitoïdes des oothèques	Hyménoptères Scelionidae (Steedman, 1988) Diptères (Steedman, 1988) Diptères Nemestrinidae (Steedman, 1988)	<i>Scelio sudanensis</i> <i>Scelio remaudieri</i> <i>Systoechus somali</i> <i>Cymectus costatus</i>
	Parasites et parasitoïdes des larves et des adultes	Diptères Sarcophagidae (Prior et Greathead, 1989 ; Steedman, 1988) Diptères (Roerich, 1951a)  Diptères Brachycères (Musso <i>et al.</i> , 1978)	<i>Blaesoxipha filipjivi</i> <i>Blaesoxipha locustae</i> <i>Gesnerioides lineata</i> <i>Acridomya sacharoui</i> <i>Asilius sp</i>
Arachnides	Prédateurs des larves et des adultes	Acariens Thrombidiidae (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994)	<i>Thrombidium parasitica</i>
Nématodes		Mermitidae (Condon et Gordon, 1977; Odindo, 1991 ; Prior et Greathead, 1989 ; Roerich, 1951a; Van Sambeek et Wiesner, 1999)	<i>Steinenema sp</i> <i>Heterorabditis sp</i> <i>Heterorhabditis megidis</i> <i>Steinemema feltiae</i> <i>Mermis nigrescens</i>
Protozoaires <i>Gregarina</i>		-	<i>Gregarina acridiorum</i> (Lepesme, 1939 ; Keith et Kevan, 1992) <i>Gregarina gamhami</i> (Corbel, 1964)
Protozoaires Amibes		-	<i>Malamoeba locustae</i> (Keith et Kevan, 1992)
Protozoaires Microsporida		Nosematidae	<i>Nosema locustae</i>

### 3- Les microorganismes pathogènes

Les micro-organismes et les virus rencontrés chez les locustes sont résumés dans des oeuvres diverses dont les travaux d'Uvarov (1966, 1977).

Plusieurs espèces de champignons s'attaquent aux criquets. Ils le font généralement lorsque ceux-ci vivent dans les conditions très humides d'un temps couvert (Steedman, 1988). Les champignons pathogènes des criquets appartiennent généralement à la classe des Deutéromycètes et aux genres *Beauveria*, *Metarhizium*, *Aspergillus*, *Verticillium*, *Sorospora* et *Entomophaga* (Keith et Kevan, 1992). *Beauveria tenella* est décrite par Latchininsky et Launois-Luong (1992) comme étant la plus prometteuse pour une utilisation en lutte microbiologique à cause de sa virulence démontrée en laboratoire.

Les bactéries entomopathogènes se trouvent dans l'ordre des Eubactérales et plus particulièrement celles appartenant aux familles des Bacillaceae, Enterobacteriaceae, Micrococcaceae et plusieurs genres de Pseudomonaceae. Bucher et Stephens (1959, in Keith et Kevan, 1992) ont trouvé quelques bactéries qui provoquent une septicémie lorsqu'elles sont injectées dans l'hémolymph de *Melanoplus bivittatus*. Il s'agit de *Pseudomonas fluorescens*, de *Serratia marcescens* et de *Bacillus cereus*. L'occurrence de *Serratia marcescens* a été notée chez le criquet brun *Locustana pardalina*, en Afrique du sud, où la transmission pouvait se faire par l'œuf.

La grosse mortalité observée en 1948 sur les criquets migrateurs dans les Landes de Gascogne (Roerich, 1951b) semble être d'origine bactérienne. Les symptômes de liquéfaction du contenu intestinal devenant noirâtre, de raidissement des pattes postérieures, et un corps flasque, se rapprochent des caractères donnés par Grassé (1924) de l'infestation par *Coccobacillus acridiorum* d'Herelle.

#### 4- La lutte biologique

La lutte biologique peut utiliser des lâchers d'insectes parasites ou prédateurs, l'utilisation d'agents pathogènes (champignons, virus, bactéries), l'emploi de méthodes génétiques et la sélection de variétés résistantes, ainsi que l'utilisation de plantes acridifuges ou acridicides (Lomer et Prior, 1992).

##### 4-1- Les insecticides microbiens

L'intérêt pour les insecticides microbiens s'est manifesté à la suite de nombreux problèmes directement ou indirectement associés à l'utilisation des insecticides chimiques. Ceux-ci ont entraîné l'apparition de résistances des insectes nuisibles et se sont révélés toxiques pour les mammifères et pour des insectes non visés mais aussi pour certaines plantes (Vincent et Coderre, 1992).

On a prouvé l'implication de deux bactéries dans des maladies chez des populations naturelles et des élevages de locustes et de sautériaux. *Serratia marcescens* et *Pseudomonas aeruginosa* infectent durablement ces insectes et se répandent dans les élevages lorsque ces bactéries sont ingérées avec de la nourriture (Zelazny *et al.*, 1997). Ces bactéries n'ont pas encore fait l'objet de recherches appliquées approfondies.

D'un point de vue commercial, les Bacillaceae, capables de former des spores constituent des solutions de rechange viables à l'utilisation d'insecticides chimiques (Dunphy et Tibelius, 1992). Grâce aux efforts conjugués de l'OMS, beaucoup de programmes internationaux ont été développés pour l'utilisation de ces bactéries entomopathogènes, notamment *Bacillus thuringiensis israelensis* (*B.t*) et *B. sphaericus* (*B.s*). Il existe une multitude de souches de *B.t* et de *B.s* (Goldberg et Margalit, 1977 ; Davidson, 1981 ; Cloutier et Cloutier, 1992) dont on a prouvé la possibilité de faire une production industrielle permettant leur utilisation comme insecticides microbiens (Dunphy et Tibelius, 1992). A ce jour, aucune des souches de *B. thuringiensis* ou de *B. sphaericus* n'est connue chez les criquets (Prior et Greathead, 1989). Parmi 393 souches de *B. thuringiensis* et 93 préparations d'autres bactéries sporulantes

administrées avec l'alimentation à des larves de *Locusta migratoria* et/ou *Schistocerca gregaria*, aucune n'a montré une quelconque pathogénicité (Zimmerman *et al.*, 1994).

Les toxines de *Bacillus thuringiensis* sont produites sous forme de protoxines d'environ 120 KDa. Une fois ingérées, elles sont transformées en protéines actives d'environ 65 KDa par les protéases intestinales de l'insecte. La forme active est responsable de l'insertion de la toxine dans la membrane luminale des cellules intestinales. Elle agit en formant un pore dans la membrane qui abolit les gradients membranaires et provoque la mort cellulaire par la lyse des cellules épithéliales. L'activité des toxines dépend donc fortement de l'interaction de plusieurs facteurs retrouvés dans l'intestin des insectes.

Les champignons entomopathogènes qui infectent les criquets font surtout partie de la sous division des Deuteromycotina : les espèces *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviride* et *Beauveria bassiana* semblent infecter la plupart des acridiens (Greathead *et al.*, 1994). Les qualités d'efficacité acridicide, de biodégradabilité, de relative spécificité des mycopesticides les font considérer comme une intéressante alternative par rapport aux pesticides chimiques classiques (Welling et Zimmermann, 1997). De multiples travaux (Zimmerman *et al.*, 1994 ; Welling *et al.*, 1995 ; Stephan *et al.*, 1997, Halouane *et al.*, 2001 ; Scanlan *et al.*, 2001) ont montré l'efficacité de l'entomopathogène *Metarhizium anisopliae* et de *Beauveria bassiana* contre les locustes africaines *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*.

Ainsi, le criquet migrateur, par l'entremise de la thermorégulation, développe une fièvre comportementale quand il est infecté par le champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Ouedraogo, 2005). En absence de thermorégulation, l'injection d'une dose de  $2 \times 10^3$  blastospores/adulte tue tous les insectes au bout de 6 jours. Par contre, chez les insectes admis à thermoréguler pendant 4 h/ jr, le taux de mortalité était seulement de  $17,3 \pm 3,3$  % après 3 semaines. L'examen de l'hémolymphe au cours de la mycose a montré une réduction drastique des hémocytes suivie d'une colonisation rapide de blastospores chez les insectes qui ne thermorégulent pas. Par ailleurs, *Beauveria bassiana* et *Metarhizium flavoviride* provoquent une diminution du nombre des différentes catégories de cellules sanguines de l'hémolymphe des larves âgées et des adultes de *L. migratoria* ainsi que des altérations structurales marquées (Halouane *et al.*, 2001).

#### 4-2- Les plantes acridifuges ou acridicides

Les Méliacées tropicales, et en premier lieu les neems *Azadirachta indica* et *Melia volkensii*, toutes deux largement répandus en Afrique de l'Ouest, sont une source abondante d'inhibiteurs de croissance pour les insectes. Le groupe de composés bioactifs le plus étudié est celui des azadirachtines, qui interviennent dans la régulation neuroendocrinienne des hormones qui elles-mêmes régissent la croissance en concentration infime, la métamorphose et la reproduction (Rembold, 1994).

Beaucoup de travaux ont montré la possibilité d'utiliser les substances insecticides assimilées aux anti-appétants contenus dans les végétaux (tab. 18), pour la lutte biologique contre les acridiens. L'effet anti-appétant d'*Azadirachta indica* (neem) et les conséquences létales de la consommation de cet arbuste sur *Locusta migratoria* sont connus depuis longtemps (Mordue *et al.*, 1986 ; Mordue et Blackwell, 1993). La production d'un acrido-dissuadant à partir du neem et le perfectionnement d'une formulation de ce produit à faible dose d'application par hectare, font par ailleurs l'objet de nombreux travaux. L'impact de l'alimentation à base d'autres phago-dissuadants a été étudié sur divers aspects de la physiologie et du comportement de *S. gregaria*. On peut citer *Eucalyptus gomphocephala* DC., *Schinus molle*

L. (Guendouz-Benrima, 2005), *Euphoria longana* et *Olea europaea* (Moumen, 1997 ; Ammar *et al.*, 1995 et Ben Hammouda, 1994).

Tableau 18. Différentes types d'effets de certaines plantes toxiques et phagorépusives sur les acridiens.

Espèce végétale	famille	effets	bibliographie
<i>Melia azedarach</i>	Meliaceae	Effet répulsif et toxique	Pasquier et Gerbinot (1945) ; Doumbai (1994).
<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	Effet répulsif et toxique	Nasseh <i>et al.</i> , (1992)
<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	Effet répulsif sur les larves L1 et L2, entraîne une stérilité chez les femelles et des mues anormales.	Ben Hamouda (1994).
<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae	Retard dans les pontes, fécondité réduite.	Ben Hamouda (1994).
<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	Stérilité des femelles, mues réduites.	Ben Hamouda (1994).
<i>Cestrum parquii</i>	Anacardiaceae	Effet toxique	Ben Hamouda (1994).
<i>Nerium oleander</i>	Apocynaceae	Effet toxique	Moussa (2003).
<i>Eucalyptus occidentalis</i>	Myrtaceae	Effet toxique	Rungs (1946)
<i>Quercus suber</i>	Fagaceae	Effet toxique	Rungs (1946)
<i>Scilla maritima</i>	Liliaceae	Effet répulsif	Doumandji et Doumandji-Mitiche (1994).

#### 4-3- Les phéromones

La grégarisation et l'oviposition ne sont que faiblement influencées par les phéromones. Toutefois, une odeur secrétée par les mâles jaunes a été identifiée et soumise à des analyses chimiques (Ferenz *et al.*, 1994 ; Rosa Paiva, 1997). Ces auteurs pensent que par l'application de phéromones, on espère empêcher les criquets de se reproduire en masse et de pulluler.

#### 5- La lutte chimique

La lutte chimique tient le devant de la lutte antiacridienne (Launois-Luong *et al.*, 1988). Pendant les invasions acridiennes, les dégâts causés sont considérables et la lutte chimique devient une nécessité impérieuse. C'est le moyen le plus efficace et le plus important en terme de surface traitée et de possibilités matérielles, financières et humaines mises en œuvre. Il faut une stratégie adaptée à chaque espèce cible pour l'atteindre à une étape de grande vulnérabilité.

La logique de la situation antiacridienne dépend de la situation :

- En présence de petites pullulations de dimensions réduites, des traitements terrestres sont effectués en couverture totale en utilisant des insecticides chimiques ou biologiques, rémanents ou non, n'affectant que les larves, s'il n'y a pas d'ailés, ou affectant les larves et les ailés si les deux états biologiques sont mélangés,
- En présence de grosses pullulations de grandes dimensions, les traitements aériens sont à privilégier (avions ou hélicoptères) en barrières espacées d'au moins 700 m, en utilisant des insecticides chimiques ou biologiques à action rapide (quand ils existent), rémanents sur 2 ou 3 semaines, affectant les larves et les ailés (et indirectement les champs de ponte) si les cibles sont constituées par des bandes larvaires mobiles.

La lutte chimique s'est développée sur deux axes : améliorer d'une part la qualité des insecticides, et d'autre part les techniques d'épandage (Latchinsky et Launois-Luong, 1992). Les produits chimiques utilisés en lutte anti-acridienne (tab. 19) sont généralement destinés à tuer les criquets soit immédiatement, soit après un délai plus ou moins long. Ils sont utilisés contre les invasions et les populations acridiennes après s'être assuré du statut du ravageur, du niveau d'infestation et des surfaces envahies. Ces produits se présentent sous la forme de poudre, de suspension huileuse ou de gaz. On distingue les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthriinoïdes et les dérégulateurs de croissance (Rachadi, 1991).

Les substances analogues aux hormones juvéniles, notamment le Fénoxycarbe, accroissent la mortalité et interrompent la métamorphose chez *L. migratoria capito* (Dorn *et al.*, 1994). Des études menées en laboratoire et sur le terrain ont montré que ces molécules ont un impact sur la morphologie phasaire des individus grégaires, leur comportement phasaire et les processus du métabolisme lipidique qui y sont liés. Elles provoquent en particulier une diminution des valeurs du rapport E/F, une augmentation des valeurs de F/C ainsi qu'une réduction de la pigmentation noire chez les larves grégaires du criquet migrateur (Othman et Schmidt, 1998). Les inhibiteurs de croissance (insect growth regulators-IGR), tels que le téflubenzuron, le triflumuron et le diflubenzuron offrent d'intéressantes perspectives en les employant en barrières contre les bandes larvaires du criquet migrateur (Musuna et Mugisha, 1997). Des épandages de Flumuron, d'Hexaflumuron et de Teflubenzuron appliqués à différentes doses sur le terrain, au Malawi et en Zambie (1993) contre des larves de *Locusta m. migratorioides* ont conduit à des mortalités allant jusqu'à 100 %, 5 à 7 jours après traitement.

Il n'existe cependant pas encore de substances commerciales inhibant sélectivement la prise de nourriture, le fonctionnement ovarien, la croissance, le mécanisme des mues, ou engendrant des malformations structurelles et fonctionnelles (Duranton *et al.*, 1982).

Outre les inconvénients dus au coût des technologies de production des pesticides, on ne peut cependant pas négliger ni les dangers immédiats de la manipulation des acridicides et l'empoisonnement des écosystèmes naturels par leurs résidus, ni l'apparition de ravageurs secondaires liée à l'impact de ces produits chimiques sur la faune utile.

Tableau 19. Matières actives sélectionnées dans la lutte antiacridienne (Duranton *et al.*, 1987 ; Rachadi, 1991) MC : micro-encapsulés, DC : dérégulateurs de croissance, OP : organophosphorés, C : carbamates, P : pyréthriinoïdes.

Fam.C him.	Matière active	Temp. active g/ha	Temp. active g/l	Mode d'action	Cible à privilégier	Particularité
OP	Chlorpyrifos Ethyl	240 à 250	240	contact et ingestion	ailés et larves	-
OP	Diazinon	900 à 960	500	contact	ailés	-
OP	Dichlorvos	200	200	contact	ailés	produit visqueux
OP	Malathion	960	1000	contact	ailés	produit visqueux corrosif
C	Bendiocarbe	200	100	contact et ingestion	ailés et larves	-
P	Deltaméthrine	12,5	12,5	contact et ingestion	ailés et larves	-
P	Lambda-cyhalothrine	40	20	contact	ailés et larves	possibilités d'allergie cutanée
OP/C	Phoxim/Propoxur	248/42	248/42	contact et ingestion	ailés et larves	association
OP/P	Fénitrothion/ Esfenvalenate	245/5	245/5	contact et ingestion	ailés et larves	association

MC	Parathion-Méthyl	240	240	contact et ingestion	larves	diffusion ralentie encapsulage
MC	Fénitrothion	400	400	contact et ingestion	larves	diffusion ralentie encapsulage
DC	Téflubenzuron*	50	25	ingestion	larves	effet différé à la mue suivante
OP	Fénitrothion	960 à 500	500 à 300	contact et ingestion	ailés et jeunes larves	produit corrosif

\* : non utilisé en Algérie

## CHAPITRE II. METHODOLOGIE

### I. Etude de la distribution, des paramètres bioclimatologiques et des biotopes à *Locusta* en Algérie

#### 1- Sources des informations sur la distribution de *L. migratoria*

Nous avons consulté de nombreux travaux de thèse traitant de l'Orthoptérofaune en Algérie puis nous avons enregistré les localisations des spécimens disponibles dans les diverses collections. L'ensemble de ces données a été utilisé pour dresser la répartition actuelle et passée de *Locusta migratoria* en Algérie.

##### 1-1- Compilations des thèses

Les thèses et travaux traitant de l'orthoptérofaune ont été effectués entre 1988 et 2003 sous l'égide de différentes institutions (le département de zoologie agricole et forestière à l'Institut Agronomique d'El Harrach, l'Institut National de la formation supérieure en agronomie saharienne de Ouargla, le département d'agronomie de la Faculté Agrovétérinaire de Blida, le département de prospection et de lutte antiacridienne à l'Institut National de la protection des végétaux d'El Harrach ainsi que diverses stations régionales agricoles) : Bakhouche, 1993 ; Beggas, 1992 ; Belhadj et Nouasri, 1995 ; Belloula, 1990 ; Benrima, 1993 ; Boukhamza, 1990, 2000 ; Boukrout-Bentamer, 1998 ; Bourahla, 1990 ; Brahmi, 2001 ; Briki, 1991 ; Damerdji, 1996 ; Ould El Hadj, 2002 ; Douadi, 1992 ; Fellaouine, 1989 ; Gadoum, 1997 ; Hamadi, 1998 ; Hamdi, 1989 - 1992 ; Ighil-Krim, 1995 ; Kabassina, 1990 ; Khoudour, 1994 ; Larid, 1989 ; Mezreb, 1993 ; Mohamed Sahnoun, 1995 ; Mohammedi, 1996 ; Molinari, 1989 ; Moussi et Harrat, 2002 ; Setbel, 2002 ; Tamzait, 1990 ; Taraï, 1991 ; Telailia, 1990 ; Younsi, 1991 ; Zergoun, 1991 et 1994 ; Zergoun et Bourouh, 2002.

L'ensemble des inventaires, dressant une liste quasi exhaustive des différentes espèces d'orthoptères, concerne 63 stations réparties depuis le littoral vers le nord jusqu'à Tamanrasset à l'extrême sud Algérien. Certaines stations ont été exclues des analyses en raison de données manquantes relatives aux facteurs climatiques, ou d'un manque de précision sur la description de la flore et de la végétation. Il en résulte 56 stations correspondant en fait à 49 localités car une localité peut être représentée par différentes formations végétales où différentes listes d'espèces acridiennes sont établies. *L. migratoria* étant graminivore comme de nombreux Caelifères, nous avons tenu compte, pour chacune des stations, des nombres d'espèces graminéennes et non graminéennes et de la richesse spécifique totale. Nous avons retenu pour chacune des 49 localités les valeurs de m (moyenne des minima du mois le plus froid, en °C), de M (moyenne des maxima du mois le plus chaud, en °C), de P (précipitations annuelles, en mm) et Q2 (coefficient pluviothermique d'Emberger-Sauvage, 1963, selon la formule  $Q2 = 3,43 (P/ M - m)$ ).

##### 1-2- Spécimens de collections

La distribution de l'espèce entre 1944 et 1956 a été déduite des collections de l'Institut Agronomique d'El Harrach, grâce à la bienveillance de M le professeur Doumandji, et de la collection de Mme Maurel, conservée chez le Dr B. Defaut à Bédéilhac, France.

Les données plus anciennes encore de la distribution correspondent à des récoltes effectuées entre 1895-1940 (Chopard 1943). Les spécimens correspondants sont conservés au Museum

National d'Histoire Naturelle de Paris (information obtenue auprès de Mme C. Amédégno, conservatrice de la collection Caelifères).

Pour chacune de ces données, nous avons enregistré autant que possible les paramètres m, M et P des variables climatiques correspondant à la période de récolte, ainsi que des paramètres de géographie physique (altitude, latitude, longitude, distance à la mer). Nous avons considéré de ce fait 3 périodes : avant 1943, entre 1944 et 1956 et enfin de 1988 à nos jours.

## 2- Représentation cartographique

Les cartes ont été réalisées grâce à la suite de programmes inclus dans le guide Data-Fauna-Flora (DFF) et Carto Fauna-Flora (CFF) de Barbier et Rasmont (2000). Chaque signalisation est enregistrée dans le tableur de CFFedit vers. 2.0 sous Windows™, en mentionnant les coordonnées en degrés, minutes et secondes de latitude et longitude, la date d'observation, la localité (exemple Alger) et le toponyme (exemple Dar-el-Beida), ainsi que d'autres renseignements éventuels (nombre de spécimens, collection INA, bibliographie, collecteur). En outre, toutes les observations ont été réparties selon les 3 périodes définies précédemment. Le fichier obtenu est un fichier texte avec l'extension .deg. Ce fichier sert à tracer la distribution avec le programme CFF vers. 2.0 sous DOS, avec des symboles différents selon les 3 périodes d'observation. Cette figure de distribution est ensuite enregistrée en format encapsulé .eps, qui peut être repris sous divers logiciels de dessin. Nous avons ensuite superposé cette figure au format eps avec une carte scannée de l'Algérie au moyen de Adobe Photoshop vers. 8.0.1, de manière à introduire d'autres informations telles que la végétation, le relief ou autre.

## 3- Acridofaune associée

Sur les 56 stations retenues de l'analyse des thèses, 114 espèces d'orthoptères ont été recensées. Nous avons homogénéisé la nomenclature dans les cas où une espèce acridienne pouvait se trouver sous 2 noms de genres différents (par exemple *Thisoicetrus* et *Heteracris*, *Platypterna* et *Ochrilidia*). Nous avons également éliminé les taxons déterminés seulement jusqu'au genre.

Nous avons enregistré la présence-absence des différentes espèces d'orthoptères selon les localités et les régions d'après un code 1-0. Les Ensifères n'ayant pas été recherchés par l'ensemble des auteurs, nous avons préféré ne tenir compte que des Caelifères, et plus particulièrement les Acridoidea.

L'établissement des différents groupes d'espèces acridiennes a nécessité plusieurs étapes. Suite à une AFC prenant en compte l'ensemble des 56 relevés et des 98 espèces de Caelifères, nous avons effectué une classification hiérarchique avec comme méthode de distance le moment centroïde d'ordre 2, et comme méthode d'agglomération, le lien simple. Le cumul des variances exprimées sur les différents axes étant faible, nous avons considéré les coordonnées selon les 5 premiers axes factoriels de manière que l'on retienne plus de 1/3 de la variance totale.

## 4- Bioclimatologie

### 4-1- Bioclimogrammes

Le diagramme pluviothermique d'Emberger-Sauvage (Sauvage, 1963) de *L. migratoria* a été établi par la fréquence de présence de l'espèce dans la période récente, car aucune donnée densitaire n'était disponible dans les thèses consultées. Pour chacune des 49 localités prises en compte dans les thèses, on a indiqué leur position dans un graphe à 2 dimensions, avec m°C

en abscisse et Q2 en ordonnée. La présence-absence de *L. migratoria*, codée en 1-0 est introduite dans le logiciel SYSTAT 7.0 (S.P.S.S., 1997) en tant que 3<sup>ème</sup> dimension. Le programme calcule et trace alors des courbes de probabilité de présence (ou d'isofréquence) qui traduisent le bioclimagramme de l'espèce. Nous avons testé la significativité des facteurs climatiques sur la présence-absence de *L. migratoria* grâce à des régressions logistiques, avec le logiciel JMP vers. 5.0 (S.A.S., 2002).

Le bioclimagramme de chaque groupement acridien est obtenu avec la même méthode que celle utilisée pour l'étude du bioclimagramme de *L. migratoria*, mais en considérant la somme des différentes espèces du groupement à la place des valeurs 0 ou 1 de *Locusta*. Ainsi par exemple, le groupement acridien 3 comprend en tout 14 espèces ; la localité 2 en contient 1 espèce, la localité 30 en contient 2 et la localité 37 n'en contient pas. Ces nombres d'espèces constituent la 3<sup>ème</sup> dimension du bioclimagramme.

#### 4-2- Changements climatiques

Les données climatiques récentes sont situées dans l'intervalle 1971-2003. Elles sont toutes issues de l'Office National de la Météorologie et ont été collectées dans les différentes thèses consultées et autres publications (Benabadji et Bouazza, 2000). Nous avons comparé ces informations aux données de Seltzer (1946) établies pour la période 1913-1938 en particulier pour les facteurs m (°C) et P (mm). Pour toutes stations où l'on disposait des données dans les périodes récentes et anciennes, il est nécessaire d'établir des corrélations pour chacun des 3 secteurs du nord de l'Algérie : (i) le secteur ouest, de la frontière avec le Maroc jusqu'à Ténès, (ii) le secteur central qui englobe la région d'Alger, les basses plaines centrales et la grande Kabylie, (iii) le secteur est de Béjaïa jusqu'à El Kala. Nous avons ensuite établi des corrélations entre les valeurs de m°C et les altitudes (m) des différentes localités pour chacun des 3 secteurs, ainsi qu'entre les valeurs de P (mm) et les distances de ces localités à la mer (Km). Les distances entre les villes et la côte ont été mesurées sur des cartes au 1/ 300 000 et au 1/1 000 000.

Cette méthode a pour but de mettre en évidence des changements de distribution du criquet migrateur dans l'espace bioclimatique défini par les paramètres m et P. En effet, nous ne disposons pas de données suffisantes sur la distribution de l'espèce pour la période exacte qui correspond au travail de Seltzer (1946) dont les statistiques portent sur l'intervalle 1913-1938.

#### 5- Distribution du criquet migrateur en rapport avec la végétation

Pour chacune des 56 stations retenues dans les thèses, nous avons reporté le type de milieu (friche, maquis, culture, pelouse sous Pinède), la présence-absence de *L. migratoria*, le nombre total d'espèces végétales, ainsi que le nombre total d'espèces graminéennes et non graminéennes.

Nous avons réalisé des régressions logistiques en considérant la présence ou l'absence de *L. migratoria* comme variable à expliquer et la richesse en espèces végétales comme variables quantitatives explicatives, avec le logiciel JMP version 5.0.

## II- Etudes des populations du Sahara algérien

### 1- Relevés personnels

La connaissance de la végétation en tant que structure d'habitat et en tant qu'aliment est indispensable à toute compréhension de la distribution et de la dynamique des populations acridiennes (Benhalima, 1983). Les sites choisis doivent être représentatifs d'une catégorie de

biotopes largement étendus dans la région. Il nous a donc paru intéressant de comparer les populations de *Locusta* dans plusieurs biotopes écologiquement contrastés par la physionomie de la végétation.

Nous avons choisi nos sites d'étude au Sahara algérien sur la base des enquêtes et investigations acridiennes des services de la protection des végétaux des inspections d'Adrar, de Ghardaïa et de Ouargla, dans les périmètres de mise en valeur, en dehors ou à l'intérieur des zones oasiennes. C'est en effet à partir de 1994 qu'une première infestation du criquet migrateur a été signalée dans la commune de Zaouiet Kounta (région d'Adrar), au niveau de parcelles irriguées situées à proximité immédiate des pivots de céréales.

### 1-1- Géographie des stations d'étude

- La région d'Adrar (Sahara Central)

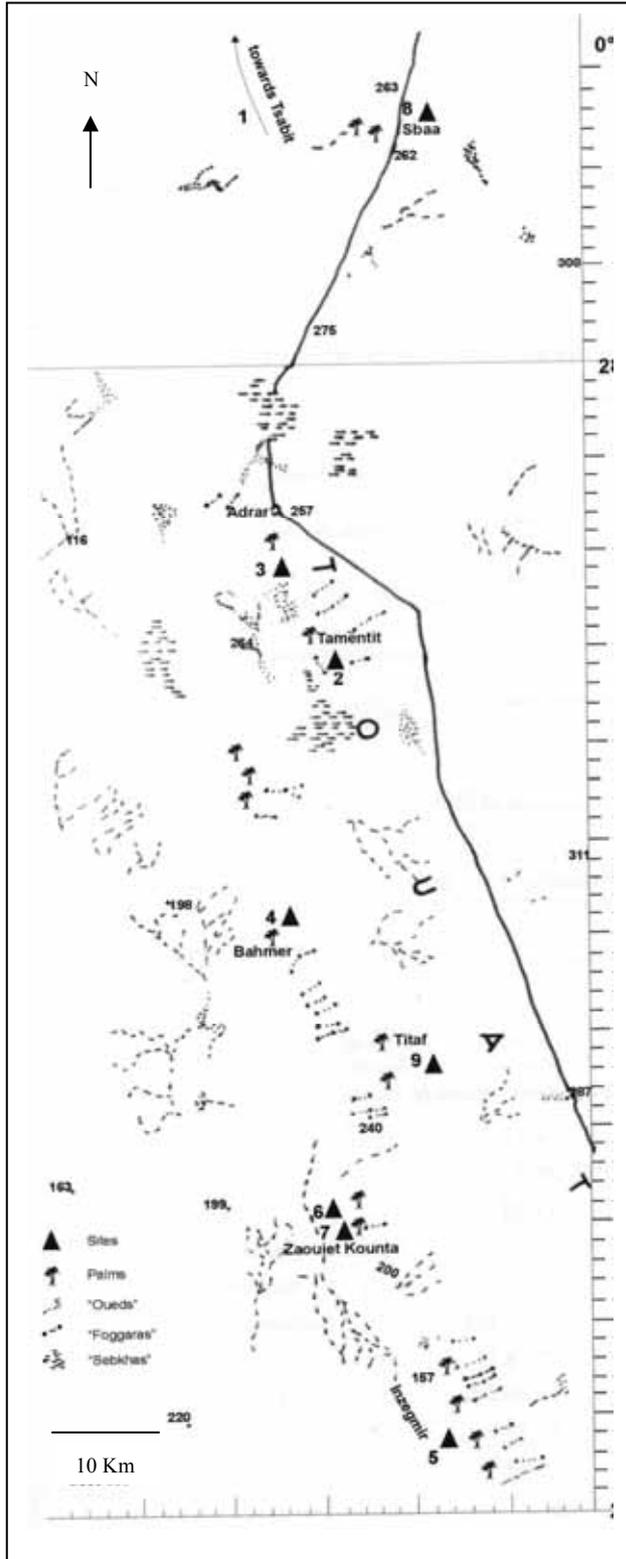
Les populations de *Locusta migratoria* ont été étudiées dans 9 stations de 1995 à 1997 et dans 10 autres de 2002 à 2004 (tab. 20), distribuées le long d'un transect de 150 Km, dans la région du Touat où sont focalisés les périmètres de mise en valeur (fig. 11). Les différents sites d'étude se trouvent entre 27°05' de latitude nord, 0°08' de longitude ouest et 28°15' de latitude nord, 0°10' de longitude ouest, à des altitudes comprises entre 150 m et 300 m (fig. 12A).



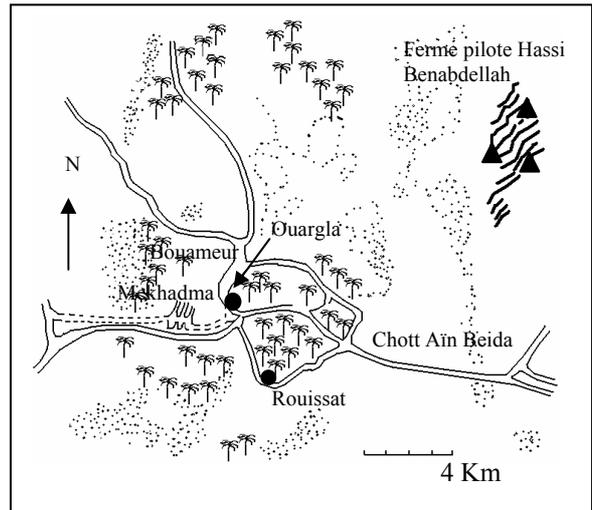
Figure 11. Pivot de Sorgho infesté de mauvaises herbes à Adrar

Tableau 20. Caractéristiques des stations étudiées dans la région du Touat (Adrar)

Station	Lieu dit	Coordonnées géogr.	Végétation	Culture dominante	Sup. (ha)
1	Tsabit	28°18'N 0°12'W nord d'Adrar	Céréales sous palmeraie	<i>Triticum durum</i>	5
2	Tamentit	27°45'N 0°15'W 264 m, est d'Adrar	oasis	<i>Phoenix dactylifera</i>	5
3	Adrar	27°49'N 0°18'W 257 m, 8 cm sud d'Adrar.	Maraîchage sous palmeraie	<i>Hordeum vulgare</i>	3
4	Bahmer	27°30'N 0°17'W 250 m, sud d'Adrar.	Céréales irriguées sous pivots	<i>Triticum durum</i>	20
5	In Zegmir	27°04'N 0°08'W 199 m, 80 Km SE d'Adrar	Céréales irriguées sous pivots	<i>Triticum durum</i>	50
6	Zaouiet Kounta	27°15'N 0°13'W 199 m, 70 Km SE d'Adrar	Céréales irriguées sous pivots	<i>Triticum durum</i>	40
7	Zaouiet Kounta	27°15'N 0°12'W 199 m, 70 Km SE d'Adrar	Céréales irriguées sous pivots	<i>Triticum durum</i>	50
8	Sbaa	28°13'N 0°09'W 230 m, NE d'Adrar	Céréales irriguées sous pivots	<i>Triticum durum</i>	40
9	Titaf	27°24'N 0°10'W 250 m, SE d'Adrar	Céréales irriguées sous pivots	<i>Triticum durum</i>	20



A. Localisation des stations d'étude dans la région d'Adrar



B. Localisation des stations d'étude dans la région de Ouargla.

Carte modifiée d'après Rouvillois-Brigol (1975).  
 Pointillés : sable ; lignes sinueuses épaisses : plantations ; triangles : stations d'étude).

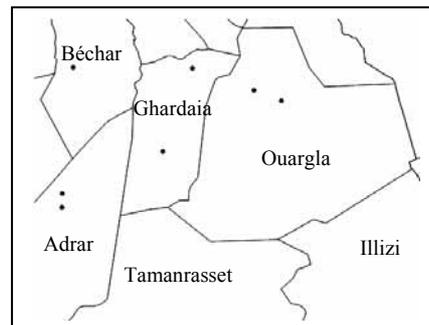
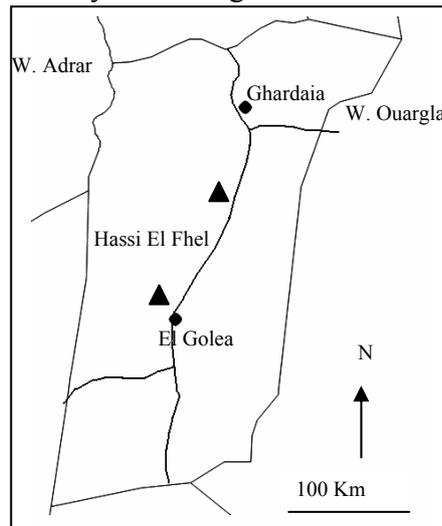


Figure 12. Stations et limites des Wilaya des 3 régions d'étude



C. Localisation des stations d'étude dans la région de Ghardaia. triangles : stations d'étude

- La région de Ouargla

L'étude a été réalisée en 2003 dans la commune de Hassi Benabdellah, située à 26 Km au nord ouest de la ville de Ouargla. C'est une des principales zones agricoles, à vocation céréalière en particulier. Elle occupe une superficie de 3060 Km<sup>2</sup> dont 5801 ha de spéculations agricoles. L'ensemble des observations et des prélèvements a été réalisé dans trois stations au niveau des fermes de Bensassi, la ferme ERIAD et la ferme pilote de Hassi Benabdellah (fig. 12B, tab. 21).

Tableau 21. Caractéristiques des stations étudiées de la région de Ouargla.

Lieu dit	Coordonnées géogr.	Végétation	Culture dominante	Sup. céréalière ha
Ferme Bensassi	32° 52' N, 05° 18' E 200 m, 18 Km SW Hassi Benabdellah	Céréales sous pivots et palmeraie	<i>Sorghum vulgare</i>	120
Ferme ERIAD	32° 52' N, 05° 18' E 200 m, 4 Km SW Hassi Benabdellah	Céréales sous pivots, maraîchages et palmeraie	<i>Sorghum vulgare</i>	542
Ferme pilote	31° 59' N, 05° 07' E 175 m, Hassi Benabdellah	Céréales sous pivots, maraîchage et palmeraie	<i>Sorghum vulgare</i>	33

La ferme de Bensassi est située sur la route de Touggourt. Elle occupe une superficie totale de 120 ha, dont 33 ha de superficie céréalière, et le reste est représenté par une palmeraie. Le type d'irrigation sous palmier est par planche. Le sol est à texture sableuse.

La station de la ferme ERIAD comprend 16 pivots d'irrigation de 33 ha chacun, couvrant une superficie de 542 ha de spéculation céréalière. D'autres cultures sont rencontrées telles que le palmier dattier avec une superficie de 193 ha, des cultures fourragères et maraîchères sous palmiers (luzerne, chou et pastèque). L'ensemble est irrigué par la méthode d'irrigation traditionnelle par planche. Le sol est à texture sableuse mélangé à du gravier.

La ferme pilote de Hassi Benabdellah est située sur un terrain plat avec une exposition est-ouest. Les sols de cette zone sont en général pauvres en matières organiques, de faible capacité de rétention en eau, et de structure de type sablonneuse à sablo-limoneuse. La ferme compte 3 ha de palmeraies et 5 ha de cultures maraîchères sous serre. Toute une autre gamme de cultures maraîchères sont cultivées en plein champ ou en intercalaire, auxquelles s'ajoutent des plantes adventices et des arbustes. A la suite d'un aménagement agricole, 15 ha ont été destinés à la céréaliculture sous pivots, dont celle du blé qui est la plus importante.

- La région de Ghardaïa (fig. 12C)

Les populations de *Locusta migratoria* ont été observées en octobre 1997 et en juillet 2000, dans deux stations. La première station se situe au niveau de l'exploitation Hadjadj, au lieu dit Sahp El Metnana, à 20 Km au nord de la commune d'El Goléa, comprenant une surface agricole utile de 500 ha, dont 13 ha de fourrages et 13 pivots totalisant 450 ha, cultivés principalement pendant la période automno-printanière en Blé dur et orge, en sorgho pendant la période estivale, de juillet à septembre. L'ensemble des pivots est protégé par des brise-vent de *Casuarina*. Le reste des cultures est représenté par 12 000 unités de palmier dattier âgés entre 2 et 15 ans, 500 unités de plants fruitiers et 34 000 unités de vigne. La seconde station se situe au niveau de l'exploitation de Houtia, au lieu dit Oued Labiod, à 10 Km au nord de Ghardaïa dans la commune de Hassi El Fhel. La coopérative Houtia est un périmètre de mise en valeur, à vocation surtout céréalière, d'une superficie totale de 700 ha. Elle comprend 3 pivots de 30 ha chacun, cultivés en blé dur, orge et sorgho (parfois du maïs), 30 ha de pomme de terre et 7 ha de vigne.

### 1-2- Composition floristique

Dans chacune des stations choisies, dans les régions de Ghardaïa, Ouargla et Adrar, nous avons délimité une aire d'échantillonnage de 10 m sur 50 m, soit une surface de 500 m<sup>2</sup>, dans laquelle les différentes espèces de plantes sont prélevées, de manière à avoir des renseignements sur l'occupation du sol et la structure de la végétation. Les stations étudiées sous palmeraies sont de ce fait des milieux semi-ouverts et les stations céréalières irriguées par le système des pivots sont des milieux ouverts. Nous avons déterminé les espèces végétales par famille botanique à l'aide de la flore de Quézel et Santa (1962-1963). Les structures et les compositions floristiques ont été étudiées en avril à Adrar et à Ghardaïa, et en août à Ouargla.

- Les stations d'étude d'Adrar

Les 19 stations à *L. migratoria* sont des périmètres de mise en valeur irrigués, basés sur du maraîchage, de jeunes ou anciennes palmeraies ainsi que des monocultures de céréales, principalement les blés durs ou les orges comme céréales d'hiver et les sorghos et mils comme céréales d'été. La flore annuelle consiste en différentes familles botaniques, dont les plus représentées sont les Fabaceae, Asteraceae, Cucurbitaceae, Liliaceae, Brassicaceae, Apiaceae, Plantaginaceae et Solanaceae. D'autres telles que les Asclepiadaceae (*Pergularia tomentosa*), Cyperaceae (*Cyperus rotundus*), Polygonaceae (*Emex spinosa*), Caryophyllaceae (*Silene setacea*, *Vaccaria pyramidata*), Euphorbiaceae (*Euphorbia dracunculoides*), Boraginaceae (*Lithospermum apulum*) et Plumbaginaceae (*Limonium thouini ssp bondueli*) sont moins représentées. Les stations 1 et 3 sont des cultures installées sous palmeraie. On y retrouve essentiellement *Triticum durum*, *Allium cepa*, *Daucus carota*, *Lactuca sativa* et *Vicia faba*. La station 2 est une ancienne oasis. Les stations 4 à 9 sont des céréales irriguées sous pivots, où les blés occupent uniformément les terrains.

- Les stations d'étude de Ouargla

Les trois stations des pivots prospectées, d'une superficie de 20 ha chacune, sont protégées par des espèces végétales utilisées comme brise vents telles que *Phragmites australis*, *Tamarix gallica* et *Zygophyllum album*. Nous avons noté aussi la présence de plantes fourragères et maraîchères telles que la luzerne et le chou.

Nos observations sur *L. migratoria* ont été réalisées pendant la période estivale sur un pivot de sorgho à l'état de chaumes, mais en présence de nombreuses repousses de la plante favorisées par une fréquente irrigation et auxquelles s'ajoutent toute une gamme de plantes adventices représentées par des graminées (surtout *Lolium multiflorum*, *Bromus madritensis*, *Polypogon argyrocoelum* et *Lepturus cylindricus*). Nous avons également pris en considération un pivot de blé dur à l'état de chaumes qui présente aussi quelques repousses de sorgho *Sorghum vulgare* et d'orge *Hordeum vulgare*.

- Les stations d'étude de Ghardaïa

Les 2 stations à *Locusta* étudiées dans la région de Ghardaïa sont représentées par une culture de sorgho en début de stade épiaison, d'une superficie de 25 ha ; et une culture de maïs en phase de remplissage du grain, d'une superficie de 45 ha. Elles sont protégées par des plants de *Casuarina* sous forme de brise-vent.

La flore adventice de ces 2 stations cultivées en irrigué est caractérisée par différentes plantes dont les plus importantes sont des Poacées telles que *Cynodon dactylon*, *Setaria verticillata* et *Bromus madritensis*.

### 1-3- Calendrier des relevés dans les stations d'étude

Un résumé des stations de prélèvements dans les régions d'Adrar et de Ouargla est présenté

dans le tableau 22.

Tableau 22. Localités et périodes d'échantillonnage sur le terrain

Régions	station	Biotope	culture	période
Ouargla	Bensassi	Sorgho fauché	Sorgho chaume	27 Août 03
	Bensassi	Sorgho fauché	Sorgho chaume	7 Septembre 03
	Bensassi	Sorgho fauché	Sorgho chaume	5 Octobre 03
Adrar	Adrar	Orge + cult mar/palmeraie	palmier	27 Décembre 97
	Tamentit	Palmeraie	palmier	31 Janvier 96
	Tsabit	Blé dur /palmeraie	blé dur et palmier	10 Mars 96
	Baamor	Orge /pivot	orge	30 Mars 96
	Titaf	Blé dur/pivot	Blé dur	12 Mars 96
	Inzegmir	Blé dur/pivot	Blé dur	20 Avril 95
	Z-Kounta	Blé dur/pivot	Blé dur	20 Avril 95
	Tsabit Touati	Sorgho fauché	Sorgho chaume	16 Avril 02
	Tsabit Abdeldjalil	Sorgho fauché	Sorgho chaume	16 Avril 02
	Z-Kounta El Haouas	Blé dur/pivot	Blé dur chaume	16 Avril 02
	Z-Kounta Djaballah	Blé dur/pivot	Blé dur chaume	16 Avril 02
	Sbaa Sbaihi	Blé dur/pivot	Blé dur chaume	13 Avril 03
	Tsabit Touati	Sorgho fauché	Sorgho chaume	13 Avril 03
	Z-Kounta	Blé dur/pivot	Blé dur chaume	23 Mai 97
	Sbaa	Blé dur/pivot	Blé dur chaume	23 Mai 97
	Tsabit Abdeldjalil	Sorgho fauché	Sorgho chaume	13 Mai 02
	Z-Kounta El Haouas	Blé dur/pivot	Blé dur chaume	13 Mai 02
	Sbaa Sbaihi	Sorgho fauché	Sorgho chaume + repousses	19 Mai 04
	Inzegmir	Sorgho /pivot	Sorgho	19 Mai 04
	Ghardaia	El Goléa Hadjadj	Maïs	Maïs
Hassi Zl Fhel Houtia		Sorgho/pivot	sorgho	10 octobre 97

#### 1-4- Taux de recouvrement végétal global

Le taux de recouvrement des espèces végétales sur le terrain est estimé selon la méthode donnée par Duranton *et al.*, (1982) qui consiste à estimer la surface de chaque plante en calculant la surface occupée par la projection orthogonale du végétal. Le pourcentage de recouvrement par la végétation est calculé grâce à la formule suivante :  $T \% = [\pi (d/2)^2 \times N / S] \times 100$ .

T est le taux en % de recouvrement d'une espèce végétale donnée (sp), d est le diamètre moyen de la plante en projection orthogonale exprimé en mètres, S est la surface de l'aire d'échantillonnage soit 500 m<sup>2</sup> et N le nombre de pieds (touffes) de l'espèce végétale donnée (sp).

Les pratiques culturales n'étant pas les mêmes dans les différents périmètres irrigués, nous avons estimé le degré d'anthropisation dans ces habitats en estimant les degrés d'enherbement des cultures, selon qu'elles sont peu ou très infestées par les mauvaises herbes.

Les recouvrements exprimés en pourcentages des graminées et des dicotylédones messicoles sont estimés selon les recouvrements moyens calculés à partir de 10 à 20 carrés de 1 m<sup>2</sup> choisis au hasard. Nous avons considéré pour chacune des 9 stations étudiées entre 1995 et 1997 à Adrar (tab 23A):

- le recouvrement végétal global qui est la somme de tous les recouvrements moyens,

- le pourcentage de recouvrement total des graminées spontanées présentes sur le terrain qui est la somme de tous les taux de recouvrement graminéens divisé par le taux de recouvrement global du site d'étude.

Sur toutes les graminées spontanées dans la station étudiée, nous donnons des pourcentages de recouvrement de la graminée dominante.

Tableau 23A. Taux de recouvrement végétal des stations d'étude de la région d'Adrar de 1995 à 1997.

Station étudiée	Recouv. végétal global (%)	Recouv. des graminées adventices (%)	Graminée adventice dominante	Recouv. graminée adventice dominante (%)
1	13,10	8,00 (2)	Sve	5,60
2	6,80	2,65 (3)	-	-
3	12,85	4,60 (1)	Hvu	4,60
4	13,92	4,80 (2)	Tvu	2,20
5	25,85	19,08 (10)	Ast, Svu	4,50
6	23,99	9,73 (8)	Ast	2,50
7	15,90	5,58 (4)	Sru	2,20
8	13,04	6,40 (2)	Ast	4,30
9	14,36	5,05 (3)	Hvu	2,40

Les numéros de 1 à 10 représentent le nombre d'espèces de graminées dans les sites étudiés. Sve : *Setaria verticillata* ; Hvu : *Hordeum vulgare* ; Ast : *Avena sterilis* ; Svu : *Sorghum vulgare* ; Tvu : *Triticum vulgare* ; Sru : *Sorghum rubens*.

Nous avons également réalisé nos échantillonnages dans 10 autres stations à pivots céréaliers dans la même région de 2002 à 2004 (tab. 23B).

Tableau 23B. Taux de recouvrement végétal des stations d'étude de la région d'Adrar de 2002 à 2004.

Station étudiée	culture	Recouv. végétal global (%)	Recouv. des graminées adventices (%)
Tsabit Touati	Sorgho fauché	25,6	8,45
Z-Kounta Djaballah	Blé dur/pivot	20	5,25
Z-Kounta El Haouas	Blé dur/pivot	20,14	3
Tsabit Touati	Sorgho fauché	27,3	10
Tsabit Abdeldjalil	Sorgho fauché	15,20	8,50
Sbaa Sbaihi	Blé dur/pivot	21,65	9,65
Tsabit Abdeldjalil	Sorgho fauché	28,11	15,50
Z-Kounta El Haouas	Blé dur/pivot	30,53	4,23
Sbaa Sbaihi	Sorgho fauché	50,55	22,83
Inzegmir	Sorgho /pivot	33,33	18,58

Nous remarquons d'après le tableau 22A que les stations 5, 6 et 7 sont les plus enherbées avec des proportions variant de 16 à 26 % de mauvaises herbes. Au sein de celles-ci, 10 à 20 % représentent des graminées spontanées. L'oasis (station 2) est un habitat naturel avec seulement 6 % d'enherbement. Par ailleurs, dans les stations prospectées entre 2002 et 2004, où les céréales (blés durs et sorghos) ont été pour la plupart moissonnées, les taux de recouvrement par la végétation sont compris entre 15 et 50 %, avec un pourcentage de graminées adventices non négligeable se situant entre 8,5 et 23 % au niveau des sorghos fauchés (tab. 23B).

Les taux de recouvrement dans les périmètres irrigués étudiés dans la région de Ouargla et Ghardaïa sont consignés dans les tableaux 24 et 25.

Tableau 24. Principales espèces de plantes et leurs taux de recouvrement dans les stations d'étude de Ouargla.

Famille botanique	Espèces végétales	Recouvrement en %		
		F. ERIAD	F. Bensassi	F. pilote
Poacées	<i>Sorghum vulgare</i> (chaume et repousses)	30	5	
	<i>Bromus madritensis</i>	20	0,5	
	<i>Bromus rubens</i>	-		2
	<i>Lepturus cylindricus</i>	10		
	<i>Triticum durum</i> (chaume)	-	30	70
	<i>Hordeum vulgare</i>		2	
	<i>Koeleria pubescens</i>	5		
	<i>Aira tenorei</i>	4		
	<i>Lolium multiflorum</i>	-	0,5	
	<i>Polypogon argyrocoelum</i>	1		
Apiacées	<i>Anethum graveolens</i>	0,1		
Astéracées	<i>Sonchus oleraceus</i>	0,8		
	<i>Launaea nudicaulis</i>	0,3		
	<i>Launaea glomerata</i>	-		0,5
	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	0,1		
Chénopodiacées	<i>Emex spinosa</i>	0,8		
	<i>Chenopodium murale</i>	2		
Fabacées	<i>Melilotus indica</i>	10		
Caryophyllacées	<i>Spergularia lucida</i>	8		
Salsolacées	<i>Atriplex dimorphostegia</i>	0,5		

Tableau 25. Principales espèces de plantes et leurs taux de recouvrement dans les stations d'étude de Ghardaïa.

Famille botanique	Espèces végétales	Recouvrement en %	
		Hadjadj	Houtia
Poacées	<i>Bromus madritensis</i>	15	10
	<i>Polypogon monspeliensis</i>	1,06	
	<i>Digitaria commutata</i>	0,5	
	<i>Setaria verticillata</i>	0,8	0,8
	<i>Zea maïs</i>		70
	<i>Sorghum vulgare</i>	80	
	<i>Paspalum distichum</i>	0,1	
	<i>Polygonum salicifolium</i>	0,8	
Polygonacées	<i>Polygonum salicifolium</i>	0,8	
Chénopodiacées	<i>Chenopodium album</i>	1,50	2
Brassicacées	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	0,1	
	<i>Sinapis arvensis</i>		0,5
Fabacées	<i>Melilotus infesta</i>	7	
	<i>Medicago sativa</i>		2
	<i>Convolvulus arvensis</i>		0,8

1-5- Echantillonnage des populations de *L. migratoria*

L'étude sur le terrain des peuplements d'animaux nécessite que l'on connaisse au moins de façon approchée les effectifs et les proportions des différentes espèces. Il faut donc recueillir des échantillons aussi représentatifs que possible de la faune des stations où l'on travaille (Voisin, 1980), de manière à obtenir une image instantanée de la structure de la population acridienne (Lecoq, 1978). Les méthodes de capture des orthoptères sont nombreuses et très diversifiées (Gillon, 1974 ; Lamotte et Bourlière, 1978 ; Voisin, 1980, 1986 ; Benhalima *et al.*, 1984). Pour notre part, nous avons utilisé la méthode des quadrats, qui consiste à choisir

un emplacement où les conditions apparaissent homogènes. Nous avons donc choisi un hectare dans le périmètre irrigué étudié, à l'intérieur duquel on délimite au hasard 7 à 10 carrés de 9 m<sup>2</sup> (3 m x 3 m) grâce à une ficelle de 12 m de long. Nous avons également tracé des transects de 100 x 1 mètre, dans lesquels nous avons pris d'une manière aléatoire 10 à 20 carrés de 1 m<sup>2</sup>.

La densité des larves a été estimée sur une surface homogène de 1 ha en considérant la moyenne du nombre de larves rencontrées dans 20 carrés de 1 m<sup>2</sup> pris au hasard, ou pris au niveau de transects. La densité des adultes est calculée en prenant la moyenne d'individus adultes observés dans 10 transects (bandes de L x l : 100 m x 1 m). Les sexe-ratios des larves et des adultes ont été estimés grâce à la moyenne de 10 quadrats de 3 m<sup>2</sup> pris au hasard sur 100 m<sup>2</sup>. Dans chaque quadrat échantillon, nous notons les différents stades de développement de *L. migratoria* observés ainsi que les imagos nouvellement mués, les accouplements et les pontes chez les imagos matures.

## 2- Signalisations de l'INPV

Nous avons consulté les archives de prospection acridienne (archives de l'INPV et archives de l'inspection de la protection des végétaux d'Adrar) de la Wilaya d'Adrar entre 1994 et 1999. Ces archives se présentent sous forme de fiches de signalisation et de traitement du criquet pèlerin, dans lesquelles les densités et les états phénologiques de *L. migratoria* sont mentionnés, en association avec ceux de *Schistocerca gregaria*. Les signalisations concernent, pour la plupart, les zones des périmètres irrigués et de mise en valeur. La structure de ces fiches de signalisation est présentée dans le tableau 26.

Tableau 26. Fiche de signalisation acridienne de l'INPV d'Adrar.

Ministère de l'Agriculture  
Institut National de la  
Protection des végétaux  
INPV

Fiche de signalisation S G R et traitement

PCC/LAA

PCW : .....

Date : ..... Equipe de prospection : ..... Position : .....

### A- Caractéristiques géographiques des stations SGR

Station SGR	Date d'observation	Lieux dits et coord. Géo.	Superficies infest.	Densités (unité/surface)
A1	A2	A3	A4	A5

### B- Caractéristiques des populations SGR

Population SGR				
AILES			LARVES	
Maturité sexuel. A6	Accoupl. A7	Ponte A8	Stades dév. A9	Macul. A10

## C- Conditions écologiques des stations

Stations SGR n°	Espèces végétales dominantes	Développement Echelle 1 à 5	% de recouvrement du sol par la végétation B4	Sol		Pluies		Autre obs. B9
				Nature B5	Hum. B6	Date B7	H. mm B8	
B1	B2	B3						

## D- Traitement

Date : ..... Matériel utilisé

heure	Station S gr	Lieu dit coor.géog	Sup.. inf	Sup. traitées	Produit utilisé	Nbre litres	Conditions météo	Temp	Efficacité traitement		
							Vent Force-direc.		2h	12h	24h

Chaque ligne du tableau que nous avons construit contient le nom de la localité et du toponyme, les coordonnées géographiques, la date d'observation, le type de culture, la superficie infestée et les données relatives aux densités et aux différents stades biologiques de *L. migratoria*. Chaque stade biologique est indiqué par une fréquence allant de 0 à 1 selon son absence ou présence au niveau des stations prospectées dans une période donnée (semaine ou quinzaine). Les différentes dates d'observation sont regroupées en semaines ou en quinzaines selon les paramètres à analyser.

L'étude statistique est réalisée par le logiciel Systat vers. 7.0. (SPSS, 1997). Des ANOVA ainsi que des analyses de corrélations ont été pratiquées après avoir transformé les valeurs des latitudes et des longitudes, et les dates d'observation en données décimales. Les densités et les superficies infestées ont été normalisées par transformation en valeurs logarithmiques. Nous avons pris en compte dans notre base de données 272 relevés correspondant à 79 stations, comprises entre 26°50' et 28°20' de latitude Nord.

### III- Morphométrie de *L. migratoria*

Nous avons effectué des travaux de morphométrie « classique » à l'aide d'un pied à coulisse et du papier millimétré pour appréhender le statut phasaire et la caractériser la sous-espèce. Nous avons également pratiqué la morphométrie géométrique grâce à des dessins d'élytres pour quantifier le degré d'asymétrie engendré par un stress environnemental.

#### 1- Morphométrie classique

Les individus récents (1995–2004) de *Locusta* ont été récoltés par nos soins en zones de périmètres irrigués dans le Sahara central et le Sahara Septentrional à Adrar et Ouargla. Les échantillons plus anciens (1946-1956) proviennent du nord de l'Algérie et sont issus de la collection gérée par le Professeur Doumandji au département de zoologie de l'Institut National Agronomique d'El Harrach.

### 1-1- Détermination de la sous-espèce

Dans un souci d'homogénéité par rapport au travail déjà publié de Defaut (2005), nous avons effectué pour chaque individu mâle et femelle 9 mesures, ce qui nous a permis de calculer 6 rapports entre ces mesures (fig. 13). Nous avons confronté ces données avec celles effectuées par le Dr B. Defaut à partir d'individus appartenant aux sous-espèces *migratoria*, *gallica* et *cinerascens* provenant de France continentale, de Corse et d'Espagne. Les mesures sont :

- largeur maximum de la tête (au niveau des joues) : C
  - largeur du vertex entre les yeux : v
  - longueur des yeux : y
  - longueur du pronotum : P
  - largeur maximum du pronotum, entre les épaules : M'
  - largeur minimum à l'étranglement : M
  - hauteur maximum du pronotum, au milieu de la prozone H
  - longueur des fémurs postérieurs F
  - longueur des tegmina, jusqu'à la disparition de la nervure radiale sous le pronotum : E'
- ainsi que les rapports suivants :  $y / v$ ,  $P / C$ ,  $H / C$ ,  $M / C$ ,  $E' / F$  et  $E' / P$ .

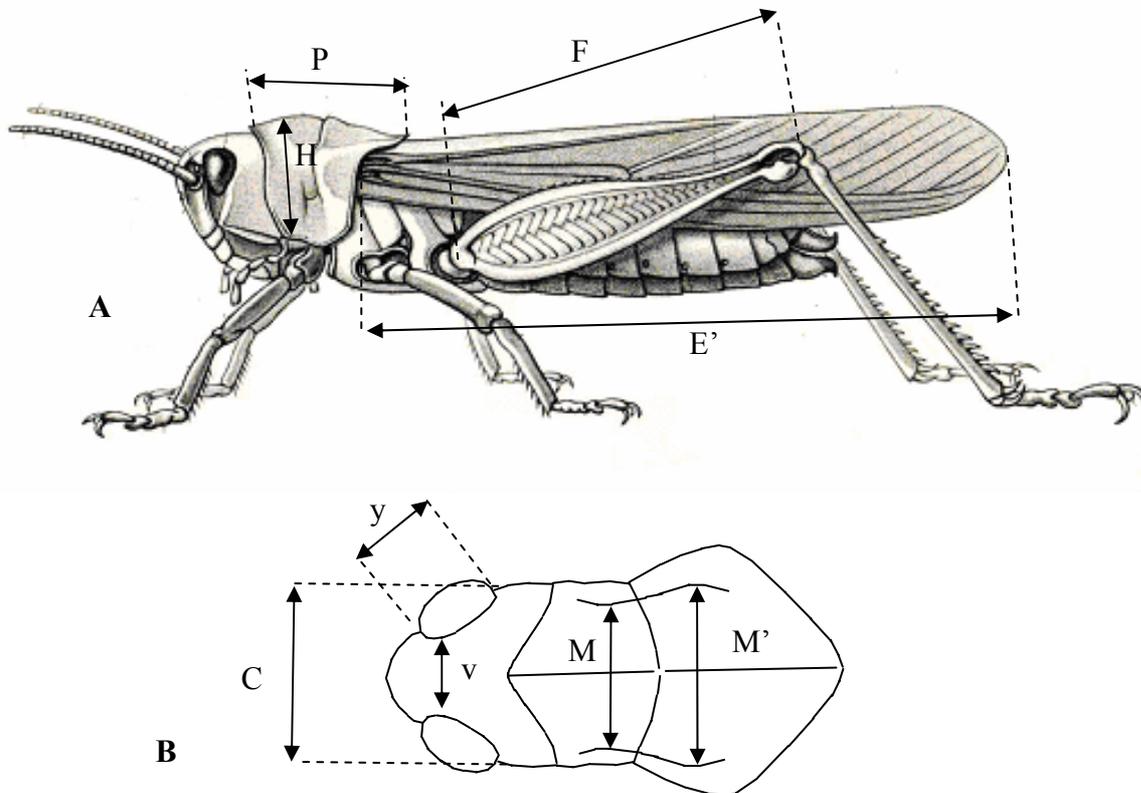


Figure 13. Emplacement des prises de mesures morphométriques. A : vue latérale. B : vue dorsale du pronotum et de la tête.

### 1-2- Variations annuelles du statut phasaire des populations de *L. migratoria*

Pour préciser le statut phasaire des populations algériennes de *L. migratoria*, nous avons pris en compte les rapports morphométriques E/F et F/C de *L. m. migratoria* (Uvarov, 1921), *L. m. migratorioides* et *L. m. cinerascens* (Uvarov et Hamilton, 1936 ; Waloff, 1940 ; Lecoq, 1991) (tab. 27). Nous avons reportés ces rapports sur l'abaque de Duranton *et al.* (1990) en tenant compte des bornes définies pour *Locusta migratoria cinerascens* pour l'ensemble des

individus du nord de l'Algérie et des périmètres irrigués du sud aux différentes périodes de prélèvement.

Tableau 27. Rapports morphométriques phasaires des trois sous-espèces de *Locusta migratoria* (in Uvarov, 1966).

Sous-espèces	Sexe	E/F		F/C	
		solitaire	grégaire	solitaire	grégaire
<i>L. m. migratoria</i>	♂	2,00	2,09	-	-
	♀	1,85	2,14	-	-
<i>L. m. migratorioides</i>	♂	1,79	2,09	3,67	2,96
	♀	1,81	2,18	3,46	2,86
<i>L. m. cinerascens</i>	♂	1,76	1,92	3,63	3,20
	♀	1,75	1,94	3,83	3,21

Nous avons pris en considération 61 individus de *L. migratoria* dans le nord algérien et plus de 300 dans les zones sahariennes (tab. 28). Le graphique prenant en compte les 2 rapports a été réalisé grâce au logiciel PAST version 3.37 (Hammer *et al.*, 2001).

Tableau 28. Effectifs des *Locusta* analysés dans les localités nord et sud algériennes

	Spécimens de collection du Nord	Populations du Sahara algérien				
		1995	1997	2002	2003	2004
Mâles	35	35	40	30	30	18
Femelles	20	35	20	30	30	40

Les différentes populations sahariennes et les spécimens de collection du nord algérien sont comparés 2 à 2 pour chaque sexe considéré, à l'aide d'une analyse discriminante grâce à SYSTAT version 7.0. (S.P.S.S, 1997).

## 2- Morphométrie géométrique et stress de développement

### 2-1- Principe

L'asymétrie des organes paires peut se décomposer en asymétrie fondamentale, résultant d'une spécialisation latérale, et une asymétrie fluctuante due à un stress de développement (Clarke, 1992, 1993 ; Hardersen et Frampton, 1999). L'asymétrie fondamentale est représentée chez de nombreux Ensifères mâles où le miroir de l'élytre droit frotte contre les dents portées par l'élytre gauche. En revanche, chez *Locusta* comme la plupart des autres Caelifères, il n'y a pas ce type d'asymétrie (Jentzsch *et al.*, 2003). En conséquence, nous assimilons l'asymétrie des élytres à l'asymétrie fluctuante. C'est cette asymétrie qui rendra compte du stress de développement pouvant être influencé par des facteurs environnementaux. Nous nous proposons de quantifier l'asymétrie des élytres de chaque individu en comparant la position des points de repères (PR), ou *landmarks* des auteurs anglo-saxons, sur la nervation des 2 élytres (Klingenberg et McIntyre, 1998) grâce à la méthode de la morphologie géométrique. Ces PR sont des points facilement identifiables d'une espèce et d'un individu à l'autre, étant la limite entre deux ou trois structures homologues : rencontre ou séparation de deux nervures ou d'une nervure avec un bord. Chaque PR porte un numéro et est repéré par ses coordonnées (x, y) dans un plan.

Lorsque tous les PR sont enregistrés chez toutes les espèces, on procède en plusieurs étapes automatiques avec le logiciel TPSRelW vers 1.42 de Rohlf (2005) :

- Translation, rotation et mise à l'échelle des tous les individus (Analyses Procustes Généralisées, ou APG) ;
- Calcul d'un individu moyen, ou consensus, ayant pour chaque PR le barycentre des PR des individus pris en compte ;
- Représentation de la déformation de chaque individu par rapport au consensus, sur une grille. Le principe de flexion d'une grille est simple : pour qu'un point chez deux individus occupe la même position dans un rectangle donné, il est nécessaire d'imposer une déformation à ce rectangle. Naturellement, si deux rectangles contigus subissent des déformations, la déformation globale doit tenir compte de toutes les contraintes. Ces contraintes, ou flexions (*warp*, en anglais) se décomposent mathématiquement selon les axes, en flexions relatives. On peut soit visualiser ces flexions relatives sur des plaques minces = grilles (*thin-plates*) ou au moyen de vecteurs en relation avec des graphes d'ordination en plusieurs dimensions, selon les axes principaux.

## 2-2- Application de la méthode

Nous avons prélevé entre mars 2003 et septembre 2004, 54 individus des deux sexes à raison de 19 au niveau de chaumes de sorgho, 12 sur les chaumes de blé et 23 dans une culture de sorgho et mil. Les élytres droit et gauche pour chaque individu considéré ont été conservés dans des papillotes. La planéité des élytres est obtenue en les plaçant entre deux lames de verre dans du liquide de Faure. La nervation de chaque élytre a été ensuite dessinée à l'aide d'une loupe binoculaire munie d'une chambre claire, puis scannée et enregistrée dans un fichier image JPEG lisible par des logiciels de dessin. Les coordonnées de chaque PR ont été obtenues grâce au pointeur de la souris sous le logiciel PAINT de Windows XP Microsoft™ en format texte avec l'extension TPS selon les instructions établies dans la suite de logiciels de Rohlf (2005).

Les PR ont été choisis de telle sorte que les parties distale et proximale de l'élytre soient représentées. La nomenclature des nervures suit celle de Béthoux et Nel (2001 et 2002), Petit *et al.* (2006). Les douze PR retenus sont définis par (fig. 14) :

- la rencontre de la nervure médiane M et la nervure CuA+ CuP1 : PR1
- la rencontre de la CuP1 et la CuP2 : PR2
- la divergence distale de la nervure CuA+ MP : PR3
- la divergence distale de la nervure CuA+ CuP1 : PR4
- le point de départ proximal de la CuA+ MP : PR5
- le point de départ proximal de la MA2 : PR6
- le point de divergence distal de la M : PR7
- le point de rencontre proximal entre RA et RP : PR8
- la 1<sup>e</sup> bifurcation proximale de la RP : PR9
- le point de rencontre entre la SCA et le bord antérieur : PR10
- le point de rencontre entre la RA et le bord distal : PR 11
- le point de rencontre entre le MA2 et le bord postérieur : PR12

Les coordonnées des PR des 54 paires d'élytres après superposition ont été obtenues grâce au logiciel TPSRelW version 1.42 (Rohlf, 2005). Cela nous a permis de calculer les angles réalisés par l'orientation des vecteurs des PR de l'élytre droit par rapport au gauche pour chacun des individus, de manière à tester si certains PR ont un angle privilégié de déformation (fig. 15). Si c'est le cas, on pourra affirmer qu'il existe une asymétrie fonctionnelle entre les 2 élytres. Sinon, l'asymétrie mesurée correspondra uniquement à la composante asymétrie fluctuante, dépendante du stress environnemental.

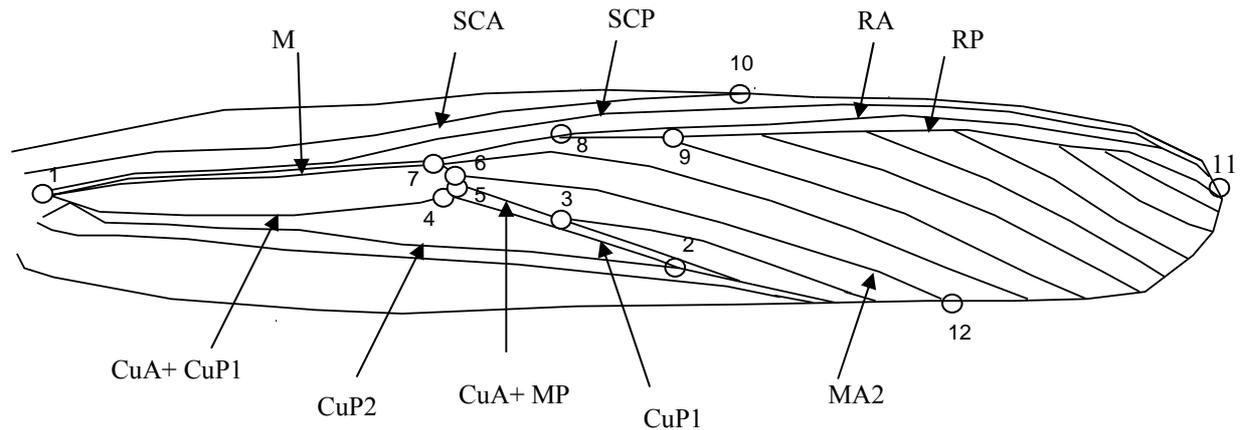


Figure 14. Dessin d'élytre de femelle de *L. migratoria cinerascens* et position des PR.  
 Abréviations. M : médiane; SCA : sous costale antérieure; SCP: sous costale postérieure; RA: radiale antérieure; RP: radiale postérieure; MA: médiane antérieure; MP: médiane postérieure; CuA: cubitale antérieure; CuP: cubitale postérieure. Certaines nervures se divisent en sous branches nommées 1 (antérieure) et 2 (postérieure).

Les points correspondant aux élytres de chaque individu ont été projetés sur les deux premiers axes de flexion relative (*relative warps*). En effet les flexions relatives sont une décomposition des déformations de PR selon des axes factoriels par rapport à l'individu moyen encore appelé consensus. Les coordonnées sur cette projection nous ont servi à calculer des distances euclidiennes entre les points correspondant aux élytres droit et gauche de chaque individu.

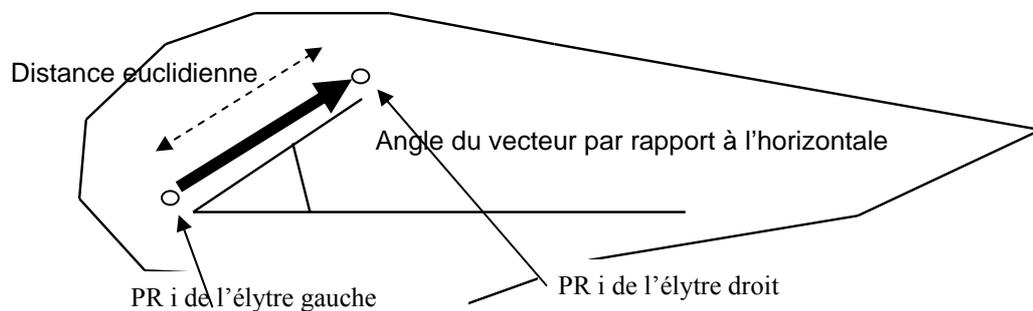


Figure 15. Représentation schématique montrant le déplacement d'un PR de l'élytre droit par rapport au gauche, après superposition. Ce déplacement est représenté par un vecteur dont il faut calculer l'angle par rapport à l'horizontale et la norme (distance euclidienne entre les extrémités). Si les coordonnées des points PRiG et PriD sont respectivement  $(x_1, y_1)$  et  $(x_2, y_2)$ , alors la norme est :  $\sqrt{(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2}$  et l'angle est  $(y_2-y_1)/(x_2-x_1)$ .

Par ailleurs, nous avons calculé les déplacements des PR des élytres droit et gauche par rapport à leur barycentre, pour l'ensemble des individus (fig. 15). Il a donc été nécessaire dans un premier temps de calculer les distances euclidiennes entre chaque PR pour les élytres droit et gauche de chaque individu. La moyenne de ces distances pour chaque PR a été calculée puis rapportée à 100 pour obtenir le pourcentage de contribution de chaque PR à la dispersion totale, de manière à identifier les PR stables et les PR variables. Dans un second temps, l'angle réalisé entre le vecteur de chaque PR pour les élytres droit et gauche par rapport à l'horizontale a également été calculé pour déterminer s'il existe des déformations systématiques dans une direction particulière.

Enfin, le logiciel PAST version 1.34 (Hammer *et al.*, 2001) a été utilisé pour calculer les tailles centroïdes de chaque élytre, c'est-à-dire la distance euclidienne moyenne entre chaque PR et le barycentre des 12 PR. Les ANOVA ont été réalisées grâce à SYSTAT 7.0 (S.P.S.S. 1997), en considérant le sexe et les trois milieux comme facteurs.

#### **IV- Régime alimentaire de *L. migratoria* au niveau des céréales irriguées sous pivots**

L'étude du régime alimentaire est un des éléments qui permet de cerner le phénomène de pullulations des acridiens ravageurs de l'agriculture. L'étude du régime alimentaire de *L. migratoria* dans les céréales irriguées sous pivots a été faite en se basant sur l'analyse comparative de la composition floristique du tapis végétal des différents périmètres et de la composition floristique des fèces des individus capturés dans ces mêmes périmètres.

Le criquet migrateur est assez exigeant, en phase solitaire, du point de vue alimentaire (Hummelen et Gillon, 1968 ; Andrianasolo, 1972). Nous avons scindé l'étude de l'alimentation du criquet migrateur dans les pivots céréaliers en deux aspects complémentaires : la recherche des préférences alimentaires sur les graminées présentes sur le terrain et leur influence sur la physiologie des larves et des imagos.

Plusieurs auteurs tels que Gangwere (1961), Dajoz (1970) et Le Berre (1973) ont proposé diverses méthodes pour étudier le régime alimentaire des criquets. Poras (1971) au Mali et Andrianasolo (1972) à Madagascar ont utilisé la méthode de l'examen du contenu du tube digestif du criquet migrateur. En revanche, la technique d'identification des débris végétaux dans les fèces ne perturbe pas l'équilibre démographique des populations. C'est une méthode objective, rapide et précise, ne nécessitant pas de matériels délicats ou coûteux (Launois-Luong, 1975).

##### *1- Constitution de l'épidermothèque de référence*

Pour identifier les débris végétaux constituant les fèces, nous avons cherché à connaître les épidermes des espèces de Poacées échantillonnées dans les périmètres irrigués sous pivots, indépendamment de leur recouvrement sur le terrain. Plusieurs méthodes de préparation des épidermothèques sont indiquées telles que celles de Stewart (1965) in Benhalima (1983), Chara *et al.*, (1984), Chara (1987). Cette préparation consiste en ce qui suit :

- ramollir le végétal, s'il est à l'état sec, dans l'eau pendant 24 heures,
- gratter avec une lame fine les épidermes des différents organes du végétal (feuilles, tiges, fleurs et fruits),
- faire passer les épidermes à l'eau de Javel pendant 20 mn, pour l'élimination de la chlorophylle,
- rincer à l'eau pour éliminer l'excès d'eau de Javel,
- faire passer les épidermes à différents bains d'alcool (70°, 90°, 95°), afin de les déshydrater,
- faire sécher les épidermes dans du papier Joseph, les placer entre lame et lamelle dans une goutte de liquide de Faure,
- faire passer les lames préparées sur une plaque chauffante, de manière à éliminer les bulles d'air, pour une meilleure conservation des épidermes.

Sur chaque lame ainsi préparée, nous mentionnons le nom de l'espèce végétale et la partie traitée, la date et le lieu de sa récolte. Les différents épidermes sont observés au microscope photonique afin de réaliser des dessins de référence.

### 2- Echantillonnage des *L. migratoria* pour la détermination des régimes alimentaires

Tous les individus proviennent de 9 stations dans les régions d'Adrar et de Ouargla. Les larves L4 et L5 et les adultes se répartissent selon le tableau 29.

Tableau 29. Individus analysés à Adrar et à Ouargla

Stations	Nombre de L4	Nombre de L5	Nombre d'adultes
Pivot blé dur, Hassi Benabdellah	7 ♂+ 8 ♀	9 ♂+ 6 ♀	10 ♂+ 10 ♀
Pivot blé dur, Hassi Benabdellah	10 ♂+ 8 ♀	9 ♂+ 5 ♀	10 ♂+ 10 ♀
Pivot blé dur, Z. Kounta	10 ♂+ 9 ♀	8 ♂+ 10 ♀	37 ♂+ 15 ♀
Pivot blé dur, Z. Kounta	9 ♂+ 7 ♀	10 ♂+ 10 ♀	9 ♂+ 7 ♀
Pivot blé dur, Z. Kounta	11 ♂+ 8 ♀	10 ♂+ 10 ♀	12 ♂+ 10 ♀
Pivot blé dur, In Zegmir	7 ♂+ 8 ♀	7 ♂+ 7 ♀	11 ♂+ 9 ♀
Pivot sorgho, Z. Kounta	9 ♂+ 9 ♀	9 ♂+ 7 ♀	7 ♂+ 17 ♀
Pivot de Sorgho fauché, Tsabit	9 ♂+ 9 ♀	8 ♂+ 7 ♀	15 ♂+ 16 ♀
Pivot sorgho-mil, In Zegmir	7 ♂+ 9 ♀	8 ♂+ 8 ♀	11 ♂+ 14 ♀

### 3- Technique de prélèvement et d'analyse des fèces

Les criquets migrateurs prélevés dans les pivots et dans les spéculations avoisinantes sont mis séparément dans des sachets en papier perforés de petits trous pour l'aération, à l'intérieur desquels, on place une étiquette mentionnant le sexe et l'état biologique, ainsi que la date de prélèvement de l'individu. Les égestats, résultant des récents repas de chaque individu identifié, sont ensuite récupérés au bout de 24 heures dans des cornets en papier également référencés.

La méthode suivie pour la préparation des fèces est celle de Launois-Luong (1975), qui a pour but l'identification et la quantification des fragments végétaux contenus dans les fèces des individus capturés. Cette méthode consiste à ramollir les fèces pendant 24 heures dans de l'eau et à les faire passer dans une série de bains d'eau de Javel, d'eau distillée, et dans de l'éthanol à différentes concentrations (75°, 90°). Après montage de l'échantillon entre lame et lamelle, dans une goutte de liquide de Faure, on examine au microscope photonique les fragments d'épiderme rejetés. Chaque préparation est identifiée par la date, le lieu de récolte, la culture considérée, le sexe de chaque individu, ainsi que son stade biologique, autant d'éléments pris en compte pour l'interprétation des résultats. Les fragments des débris végétaux rejetés sont ensuite comparés avec l'épidermothèque de référence.

La détermination des fragments végétaux contenus dans les fèces s'appuie sur des critères d'identification dont les plus importants sont la forme, la taille et la densité des différents types cellulaires épidermiques ainsi que les ornements des glumes et des glumelles (Prat, 1932 ; Launois-Luong, 1975). Selon la taille, l'épiderme des graminées présente des cellules courtes et des cellules longues selon les mêmes auteurs. Les cellules courtes sont de 4 types :

- des cellules à silice de formes et de dispositions constantes,
- des cellules subéreuses à contours parallélépipédiques avec des prolongements saillants,
- des cellules exodermiques pourvues d'un prolongement saillant sous forme de crochet, d'aiguillon, et de poils uni ou pluricellulaires,
- les stomates constitués d'un groupe de deux cellules courtes associées.

Les cellules longues constituent un seul type. Elles peuvent être bulliformes sans ondulations ou engrenées avec soit des expansions arrondies grosses et isolées (papilles), soit des expansions de taille réduite appelées verrues (Prat, 1932).

#### 4- Les paramètres descriptifs des régimes alimentaires

La fréquence d'occurrence appliquée aux graminées consommées (Butet, 1985), exprimée en pourcent, est le nombre de fois où les fragments de l'espèce végétale (i) est consommée sur le nombre total d'individus examinés de la population. Nous avons également calculé le taux de consommation qui représente une quantification de fragments des différentes espèces végétales rencontrés dans l'ensemble des individus de même sexe et de même stade pour une localité. La méthode proposée est celle de Doumandji *et al.* (1993). Elle permet d'estimer les surfaces des fragments des épidermes contenus dans les fèces examinées sous microscope à l'aide d'une « fenêtre » de 1 mm<sup>2</sup> découpée dans du papier millimétré et fixée sur la platine du microscope. Le calcul du taux de consommation se fait selon la formule suivante :

$$T \% = (S / \sum S) \times 100 ; S_s = \sum X_i n / n' ; S = \sum S_s / N$$

S<sub>s</sub> : surface ingérée d'une espèce végétale donnée calculée pour l'individu considéré, X<sub>i</sub> est la surface des fragments végétaux représentant une espèce végétale i, n' est la surface balayée (somme des carrés vides et des carrés pleins contenant des fragments végétaux, n est la surface de la lamelle (576 mm<sup>2</sup>), S est la surface moyenne d'une espèce végétale donnée pour un seul des N individus, T est le taux de consommation d'une espèce végétale donnée.

Nous avons étudié la proportion des graminées consommées par rapport à l'abondance des graminées spontanées. En effet, il a été démontré que les espèces graminivores n'effectuent pas de choix, si ce n'est par rapport à la dureté des feuilles. On peut donc prédire qu'il y a une proportionnalité entre la fréquence des espèces consommées par *Locusta migratoria* correspond à celle des espèces sur le terrain. Nous appellerons cette relation RCRP (Relation entre Consommation et Recouvrement des Poacées sur le terrain). Nous avons essayé de vérifier dans quelles conditions du milieu cette loi de proportionnalité s'applique et quels sont les facteurs qui éventuellement la mettent en défaut. En effet, si certaines espèces sont sous- ou sur consommées, il n'y aura pas de proportionnalité entre l'abondance relative des graminées sur le terrain et leur consommation par *Locusta*.

### V- Rôle de l'alimentation sur la croissance et la survie

Les essais alimentaires en insectarium ne donnent qu'une idée approximative du régime réel de l'acridien. En effet, l'environnement et l'insecte lui même sont perturbés. Aussi, selon Launois-Luong (1975), les résultats doivent-ils être discutés par rapport à ce qui se passe dans la nature, pour séparer ainsi le rôle alimentaire du rôle de perchoir ou d'abri pour certaines espèces de graminées. De notre côté, nous avons confronté nos observations sur l'alimentation de *L. migratoria* dans les pivots à des essais de nutrition au laboratoire, en présentant les principales céréales des périmètres irrigués seules ou en mélanges avec des espèces graminéennes spontanées. Cette étude implique des compléments d'information pour comparer les caractères d'appétence des espèces graminéennes avec la consommation qu'en fait *L. migratoria* dans les conditions environnementales des pivots.

#### 1- Méthode d'étude de la croissance des larves

Les larves utilisées sont issues d'un élevage de masse de couples de *L. migratoria* ramenés d'Adrar, qu'on alimente d'abord avec du gazon. Différents lots comprenant 10 individus de chaque sexe sont ensuite isolés à partir du stade L3, et nourris de sorgho jusqu'au stade L5. Après la mue 3, les larves L4 sont numérotées individuellement sur la face latérale du

pronotum à l'aide d'un marqueur. Nous les pesons initialement et nous donnons à chaque lot un substrat alimentaire différent : blé seul, sorgho seul et sorgho en mélange avec des graminées spontanées : *Lolium multiflorum*, *Bromus madritensis* et *Avena sterilis*. Les larves sont pesées quotidiennement jusqu'à la mue imaginale, des perchoirs introduits dans les cages leur facilitant la mue. Les aliments seuls ou en mélange sont renouvelés chaque jour et sont présentés aux criquets sous forme de bouquets dans des béciers remplis d'eau. Nous notons de ce fait pour chaque individu considéré son évolution pondérale et la durée du stade larvaire au niveau de chaque lot expérimenté. Nous avons étudié 60 individus au total, en 2 répétitions, à raison de 5 mâles et 5 femelles pour chacun des 3 lots alimentaires.

## 2- Méthode d'étude de la survie larvaire

Dans les différents lots de larves alimentés avec chacun des 3 substrats alimentaires, nous notons les mortalités individuelles durant toute la durée de l'expérimentation. Le nombre de jours de survie larvaire moyenne est calculé pour chaque lot considéré.

# VI. Effets de *Bacillus subtilis*, de *B. thuringiensis* et de peptides synthétiques

## 1- Effets de *Bacillus subtilis*

### 1-1- Introduction

Le genre *Bacillus* représente les bactéries sporulées largement répandues dans le sol et les eaux naturelles, se présentant sous forme de bâtonnets isolés ou en chaînes, à extrémités carrées ou arrondies et de taille variable (de 0,5 x 1 µm jusqu'à 2,5 x 10 µm). Ces bactéries sont Gram+, de catalase positive et de réponse variable au test de l'oxydase (Guiraud, 2003), mobiles grâce à des cils péritriches et leurs spores sont ellipsoïdales à cylindriques (Cloutier et Cloutier, 1992). Les *Bacillus* sont des organismes hétérotrophes, très ubiquitaires, avec des exigences nutritionnelles très diverses et font l'objet d'une large exploitation industrielle grâce à leur production d'antibiotiques (subtilines, polymixines, colimycines, gramicidines, bacitracines) (Leclerc *et al.*, 1995).

La classification des *Bacillus* est basée sur la morphologie et la position de la spore (Leclerc *et al.*, 1995). *Bacillus subtilis* fait partie du groupe I de la famille des Bacillaceae, caractérisées par des spores ovales non déformantes, à paroi mince centrale ou terminale formant des colonies de formes irrégulières, de diamètre compris entre 0,2 et 4 mm et de consistance crémeuse. De nombreuses souches de *B. subtilis* sont utilisées dans les industries pour la production d'enzymes (amylases, protéases et cellulases). Par ailleurs, *B. subtilis* est connu pour ses propriétés antifongiques et donc utilisé dans le contrôle biologique d'un grand nombre de maladies de plantes et d'animaux (revue in Chaurasia *et al.*, 2005). Ce bacille peut produire des antibiotiques spécifiques, comme la difficidine et l'oxydifficidine (Zimmerman *et al.*, 1987) mais aussi des antibiotiques plus communs, comme la bacitracine, la bacilline et la bacillomycine B (Parry *et al.*, 1983). Bien qu'aucune toxine n'ait jamais été mise en évidence chez cette bactérie (Edberg, 1991), Klier *et al.* (1983) ont démontré la possibilité de transfert de plasmides incluant des gènes de Cry-toxines de *B.t* dans cette bactérie. *B. subtilis*, comme d'autres espèces voisines du même genre, est capable de produire la lécithinase, une enzyme qui détruit les membranes de cellules de Mammifères. Ce bacille peut également infecter et causer la mortalité de larves du 2<sup>ème</sup> stade du Moustique *Anopheles culicifacies*, vecteur de la malaria en Inde centrale (Gupta et Vyas, 1989).

### 1-2- Elevage des criquets

Nos expérimentations ont été conduites sur une population de *L. m. cinerascens* originaire d'Adrar (Sahara Central Algérien) qui a été mise en élevage au département de lutte anti-acridienne de l'INPV. Les différents bioessais ont été effectués au laboratoire de zoologie du département d'Agronomie de la Faculté Agrovétérinaire de Blida.

Les individus de *L. migratoria* sont élevés en masse dans des enceintes parallélépipédiques, de dimensions 60 x 40 x 56 cm selon la méthode utilisée par Ghaout (1990). L'élevage est maintenu grâce à des conditions expérimentales contrôlées. Un thermostat permet de réguler une température de  $32 \pm 2^\circ\text{C}$  à l'intérieur des cages tandis qu'un tube fluorescent (60 W) maintient une photopériode de 12 h de lumière sur 12 h d'obscurité, grâce à un interrupteur horaire. L'humidité est comprise entre 50 et 70 %. Les criquets sont alimentés quotidiennement de gazon *Pennisetum dichotomum* et d'un complément protéique à base de son. Des larves de 4<sup>e</sup> et de 5<sup>e</sup> stade sont prélevées dès la mue larvaire à partir de l'élevage de masse et réparties dans des cages plus petites, de dimensions 20 x 30 x 15 cm pour servir aux bioessais. Des individus de même âge, jeunes imagos ou larves âgées sont ainsi synchronisés dans des lots des différentes expériences.

### 1-3- Souches de *B. subtilis* utilisées

Nous avons utilisé 3 souches de *B. subtilis* gracieusement fournies à l'état de poudre de spores par le laboratoire de zoologie de la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique). Ce sont les souches B<sub>213</sub>, VIII<sub>3</sub> et II<sub>4</sub>.

### 1-4- Préparation des concentrations bactériennes

Nous avons utilisé de la poudre de spores sous forme lyophilisée pour les 3 souches bactériennes. Le milieu de culture de *B. subtilis* (Lazare, 1995) est réparti dans des fioles de 100 ml et mis à l'autoclave à 120°C, pendant 20 min. On procède ensuite à l'étalement de la suspension bactérienne dans des boîtes de pétri contenant un milieu PCA. Après incubation à 30°C à l'étuve pendant 24 h, des colonies sont prélevées et repiquées dans des fioles du milieu de culture de la bactérie puis incubées à 30°C sur une table agitante à 140 RPM pendant 24 h. Le nombre de cellules de l'inoculum est évalué à partir du nombre des colonies qui se sont développées sur le milieu de culture (Lazare *et al.*, 1996). On suppose que chaque colonie provient d'une seule cellule. La concentration bactérienne pour 1 ml de solution est exprimée en « colony form unit » (CFU) et calculée d'après Lazare (1995), selon la formule :  $C = n \times X \times V/v$  ; C : concentration exprimée en CFU/ml, n : nombre de colonies, d : facteur de dilution, V : volume de l'inoculum (1 ml), v : volume de dilution qui a été étalé (0,1 ml).

Nous avons testé 3 doses : D1 =  $5,2 \times 10^9$  spores ou cellules végétatives/ml, D2 =  $5,2 \times 10^7$  spores ou cellules végétatives /ml et D3 =  $5,2 \times 10^5$  spores ou cellules végétatives /ml.

### 1-5- Traitements biologiques et paramètres étudiés

Pour étudier l'influence de *B. subtilis* sur la mortalité des larves de 5<sup>e</sup> stade de *L. migratoria*, nous avons administré les traitements suivants :

- injection des 3 souches de la bactérie (B<sub>213</sub>, VIII<sub>3</sub> et II<sub>4</sub>) aux 3 doses respectives D1 =  $5,2 \times 10^9$  spores ou cellules végétatives/ml, D2 =  $5,2 \times 10^7$  spores ou cellules végétatives /ml et D3 =  $5,2 \times 10^5$  spores ou cellules végétatives /ml. Les traitements sont administrés pendant 7 jours et 8 jours respectivement sous forme de solutions sporales et de solutions contenant des cellules végétatives. Les injections sont réalisées une fois, le 1<sup>er</sup> jour de l'expérience, sous la patte métathoracique à l'aide d'une seringue Hamilton.

- ingestion de feuilles de gazon pulvérisées avec des solutions de spores à la dose D1 pendant 10 jours. Les 3 souches sont utilisées chaque jour.

L'influence du bacille sur la croissance pondérale des larves est étudiée suivant des injections dans l'hémolymphe, de spores (souche VIII<sub>3</sub> et souche II<sub>4</sub>) à la dose D3 = 1,7 x 10<sup>5</sup> spores/ml. Les évolutions des poids des larves, dans chaque lot expérimental sont enregistrées après 24 h, 48 h et 72 h. Une seule injection est également réalisée en début d'expérience.

Chez des femelles immatures et des femelles en phase reproductive, nous avons réalisé une seule injection des 2 souches bactériennes sous forme de spores (VIII<sub>3</sub> et II<sub>4</sub>) à la dose D3. Des dissections sont faites 4 jours après traitement. Pour chaque lot expérimenté, nous avons étudié 7 individus témoins et 30 individus traités à raison de 3 répétitions par lot.

#### 1-6- Etude des mortalités

Nous avons corrigé les mortalités observées en tenant compte de la mortalité des témoins. Dans la série expérimentale concernant l'injection des spores, nous avons calculé la probabilité d'observer un individu mort pour chacun des 7 jours d'expérimentation dans les 9 lots témoins. Cette probabilité a été multipliée par le pourcentage de mortalité correspondant à un mort parmi 7 individus. Nous avons donc obtenu le pourcentage de mortalité journalière chez les témoins. Ces pourcentages ont été soustraits des pourcentages de mortalité observée dans les lots traités pour calculer les pourcentages de mortalité corrigée. Dans la série expérimentale concernant l'injection des cellules végétatives, aucune mortalité dans les 9 lots témoins n'a été observée. En conséquence, nous avons directement analysé les pourcentages de mortalité brute chez les individus traités avec les 3 souches de la bactérie.

#### 1-7- Détermination des TL50

Les taux de mortalité corrigés observés chaque jour ont servi à tracer un diagramme xy. Plusieurs catégories de courbes de lissage (polynomiale, exponentielle et logarithmique) ont été testées pour obtenir le meilleur ajustement possible. La comparaison de l'efficacité de ces ajustements s'est faite par les coefficients de détermination r<sup>2</sup>. Nous avons retenu la courbe d'ajustement polynomial de degré 5, d'équation de la forme  $y = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f$ , car le r<sup>2</sup> était toujours supérieur à 0,985, quelle que soit l'expérience.

Par exemple, dans le cas d'une des 3 répétitions du traitement par l'injection de spores de la souche VIII<sub>3</sub> avec la dose 3, nous avons obtenu (fig. 16) l'équation :

$$y = 0,1239x^5 - 2,9752x^4 + 27,863x^3 - 127,04x^2 + 281,77x - 179,73, \text{ avec } r^2 = 0,9999.$$

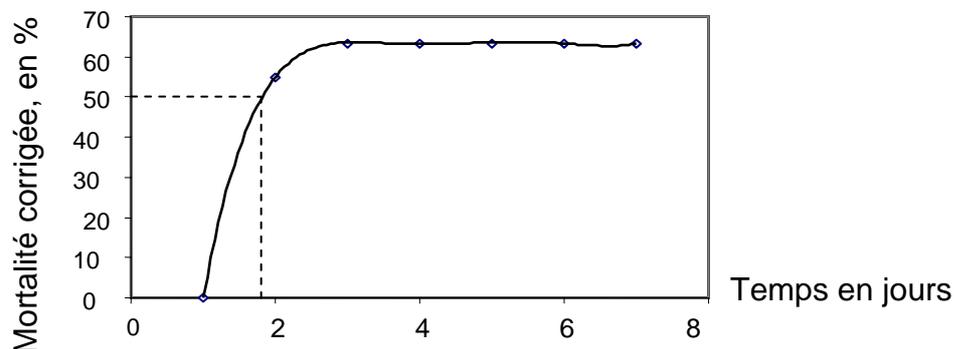


Figure 16. Effet de l'injection de spores de la souche VIII<sub>3</sub> à la dose 3 sur la mortalité de *L. migratoria*

La détermination de la TL50 se fait par approximations successives par le calcul de la mortalité prédite avec l'équation du 5<sup>ème</sup> degré, en faisant varier le temps en jours (x). Le seuil

de précision retenu pour le temps était un intervalle de mortalité compris entre  $y = 49,99$  et  $y = 50,01$  %. Pour le cas cité en exemple, nous avons obtenu 1,82 jours.

#### 1-8- Poids des larves

Les larves expérimentées ont été synchronisées dès la 5<sup>e</sup> mue larvaire puis séparées en lots correspondants aux traitements biologiques avec les 2 souches bactériennes ainsi que pour les individus témoins. Nous avons réalisé 2 répétitions par traitement et pesé chaque larve initialement en début d'expérience puis quotidiennement après l'injection de la bactérie durant 3 jours. Nous obtenons donc des poids initiaux puis des poids après 24 h, 48 h et 72 h.

#### 1-9- Etapes du développement ovarien

L'appareil génital femelle passe par quatre phases de développement : la première phase est juvénile suivie par la prévitellogenèse et la vitellogenèse qui précèdent l'expulsion des ovocytes âgés vers le calice (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994).

En phase juvénile, étape qui suit la mue imaginale, les ovarioles sont entièrement translucides. Les ovocytes basaux sont de très petite taille égale à celle des autres ovocytes des mêmes ovarioles et il n'y a pas d'accumulation de réserves. En phase de prévitellogenèse, il se produit un début de dépôt de sécrétions vitellines se traduisant par un contenu blanc aqueux au niveau des ovocytes de rang 1. Les ovocytes basaux (de rang 1) se développent lorsqu'on arrive à les discerner du reste de l'ovariole. Au cours de la vitellogenèse, l'ovocyte en plein accroissement prend une teinte jaunâtre. Ceci peut être dû à l'acquisition de matériel cytoplasmique. La vitellogenèse s'accompagne d'une accumulation de réserves vitellines, de globules lipidiques, de plaquettes protéiques et d'amas de glycogène (Raccaud-Shoeller, 1980). La taille des ovocytes basaux atteint environ 5 à 6 mm. Dans la phase d'expulsion des ovocytes, nous avons l'émission par les ovarioles des ovocytes mûrs qui sont pondus et émis dans le calice. L'ovocyte mur arrivé au terme de son développement acquiert un chorion. A ce moment, il peut évoluer de diverses manières. Il dégénère en un corps de résorption ovocytaire ou bien quitte l'ovariole en laissant une trace de ponte.

##### 1-9-1- Dissection des ovaires

Nous avons réalisé des dissections pour l'interprétation de l'état des ovaires des femelles traitées et témoins, selon la méthode préconisée par Launois-Luong, (1978) pendant la phase préreproductrice et la phase reproductrice.

Nous avons tué dans un premier temps les individus expérimentés dans un flacon contenant du coton imbibé de chloroforme. On ouvre ensuite dorsalement l'abdomen et le thorax du criquet à l'aide d'une paire de ciseaux fins et, on écarte à l'aide de deux pinces fines les parois de l'abdomen et du thorax. On coupe ensuite les oviductes latéraux au niveau de leur base et on sépare les deux ovaires gauche et droit avec les deux pinces.

Après séparation, les deux ovaires (fig. 17) sont placés dans une boîte de pétri contenant de la paraffine recouverte d'un plastique noir, puis fixés avec des épingles entomologiques. Leur examen se fait sous la loupe binoculaire dans de l'eau physiologique de Ringer.

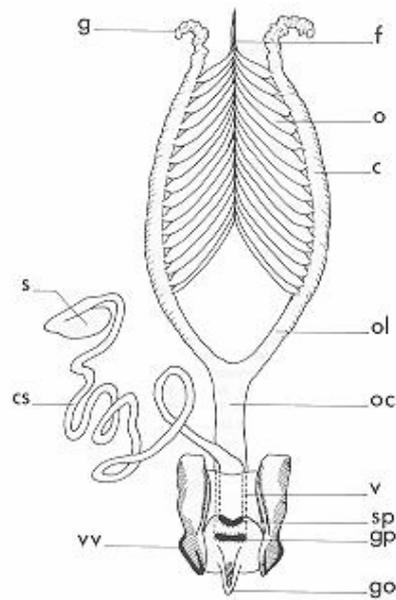


Figure 17. Appareil génital femelle de *Locusta migratoria* en vue dorsale (Liu et Leo, 1959). C : calice, cs : canal de la spermathèque, f : filament suspenseur, g : glandes accessoires, go : guide de l'oeuf, gp : gonopore ou orifice génital, o : ovariole, oc : oviducte commun, ol : oviducte latéral, s : spermathèque, sp : orifice de la spermathèque, sp : orifice de la spermathèque, v : vagin, vv : valve ventrale de l'oviscape.

#### 1-9-2- Mesures des ovocytes de base et index ovarien

Nous avons mesuré sous la loupe à l'aide d'un micromètre oculaire, les longueurs des ovocytes basaux (ovocytes de rang 1 ou o1) (fig. 18), chez les femelles immatures traitées avec *Bacillus subtilis*, sur un total de 10 individus examinés. Nous avons considéré 5 ovarioles de chaque ovaire par individu et par souche de la bactérie.

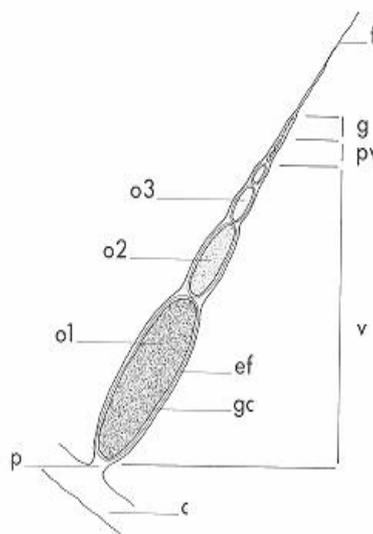


Figure 18. Schéma d'un ovariole d'une femelle n'ayant pas encore pondu (d'après Duranton *et al.*, 1982). c : calice, ef : épithélium folliculaire, f : filum terminal, g : germarium, gc : gaine conjonctive de l'ovariole, o1 : ovocyte en fin de vitellogenèse, o2 : ovocyte en cours de vitellogenèse, o3 : ovocyte en début de vitellogenèse, p : pédicelle, pv : prévittellarium, v : vitellarium .

Pour évaluer l'effet de *B. subtilis* sur la croissance des ovocytes de *Locusta*, la longueur des ovocytes des groupes témoins et expérimentaux ont été mesurées. Nous avons établi un index ovarien de manière à comparer les variations de l'évolution de l'appareil génital des femelles traitées par rapport aux témoins. Pour cela, nous avons disséqué une moyenne de 10 femelles et mesuré les longueurs des ovocytes de rang 1, depuis le 1<sup>er</sup> jour de l'émergence, jusqu'à la pleine vitellogenèse, soit le 15<sup>ème</sup> jour de la vie imaginaire. Il est défini ainsi 3 classes selon les 3 étapes du développement ovarien : un état juvénile où les ovarioles sont translucides, un état préreproducteur où les ovocytes basaux se remplissent de dépôts blanchâtres, et enfin un état reproducteur où les dépôts vitellins dans les ovarioles deviennent jaunâtres.

Les ovocytes du 1<sup>er</sup> rang ovocytaire dans chaque classe considéré ont des longueurs différentes comme suit :

Classe 1 : ovocytes juvéniles, taille  $\leq 1,4$  mm

Classe 2 : ovocytes en prévitellogenèse, taille comprise entre 1,4 et 1,6 mm

Classe 3 : ovocytes en vitellogenèse, taille  $\geq 1,7$  mm.

Pour visualiser tous les résultats sur un seul graphe, l'index ovarien a été déterminé par le rapport entre la longueur des ovocytes des individus expérimentaux et celle des individus témoins (Couillaud *et al.*, 1989).

### 1-9-3- Calculs des taux de résorption ovocytaire

Les corps de régression (Cr) ovocytaire résultent d'un phénomène d'accumulation des pigments caroténoïdes et lipidiques de couleur orangée ou rouge, restant en déchets à la base d'un ovocyte qui a échoué dans sa croissance.

En effet, les ovocytes peuvent être résorbés sous l'influence de facteurs divers : déficit nutritionnel, photopériode courte, absence d'accouplement, affection parasitaire et déséquilibre hormonal. Cette vitellogenèse interrompue peut s'expliquer selon Raccaud-Shoeller (1980) par la division amitotique des cellules folliculaires qui vont envahir l'ovocyte et intervenir dans sa résorption. Ces cellules phagocytent et digèrent les plaquettes vitellines et l'ooplasm. Ensuite, leur noyau devient pycnotique et elles dégèrent.

Nous avons disséqué 10 femelles matures de chaque lot expérimental, soit 30 individus au total (témoins, traités avec la souche II<sub>4</sub>, traités avec la souche VIII<sub>3</sub>). Nous avons considéré également 5 ovarioles de chaque ovaire pour chacune des femelles disséquées et au niveau desquels on compte le nombre de corps de résorption du 1<sup>er</sup> rang ovocytaire. Le pourcentage d'échecs à la ponte (%) par individu est calculé par le rapport du nombre d'ovarioles présentant des Cr sur le nombre total d'ovarioles examinés dans les deux ovaires.

## 2- Effets des toxines de *Bacillus thuringiensis* sur les larves

### 2-1- Introduction

*B. thuringiensis* est une bactérie insecticide utilisée pour contrôler des populations de ravageurs, principalement des chenilles de Lépidoptères Hétérocères et Rhopalocères, des larves de Diptères (moustiques et simulies). Au moins 69 sérotypes et 80 sous-espèces de cette bactéries ont été recensées à l'IEBC (International Entomopathogenic Bacillus Centre) à l'Institut Pasteur de Paris (Lecadet *et al.*, 1999). Les souches de *B. thuringiensis* produisent deux types de toxines. Les Cry (*crystal*) toxines sont les toxines majeures et servent à définir les différents types de Bt. Les Cyt (*cytolytic*) toxines constituent la deuxième catégorie et augmentent l'efficacité des précédentes dans le contrôle des insectes. La pathogénicité des toxines vis-à-vis des insectes dépend de la séquence des Cry-protéines (Höfte et Whiteley, 1989). Ces protéines sont codées par une 50taine de gènes portés par des plasmides et ont été classées en *Cry1*, *Cry2*, etc... *Cry1* est une protéine de 130-138 KDa, dont les principales cibles d'activité sont les chenilles de Lépidoptères et l'on y distingue plusieurs sous-groupes

appelés A(a), A(b), A(c), B, C, D, E, F, G. Le fait que les gènes soient portés par des plasmides a été mis à profit pour lutter contre les ravageurs des cultures en construisant des plantes transgéniques exprimant des Cry-toxines dans leurs tissus. Nous avons appréhendé les effets de différentes catégories de Cry1 sur *L. migratoria*.

#### 2-2- Préparation des lots expérimentaux

Selon le mode d'administration de la toxine, nous avons isolé individuellement des larves de stade 5 synchronisées dans de petites boîtes cylindriques dont les couvercles sont percés de petits trous pour permettre la respiration. A l'intérieur de chaque boîte, nous avons disposé une pastille imbibée de la Cry-toxine testée, pour les lots de larves traitées, et une pastille imbibée d'eau distillée pour les lots de larves témoins. Les larves chez lesquelles on réalise un traitement par injection de la toxine considérée, sont mises dans des boîtes de Pétri et sont nourries de petites feuilles fraîches de gazon de même poids. Les larves étudiées dans le traitement par intubation avec un tube capillaire sont observées sous la loupe binoculaire pendant une durée de 5 à 10 min.

#### 2-3- Préparations des doses des différentes toxines utilisées

Les toxines actives ont été aimablement fournies par Aventis CropScience (Gand, Belgique) pour le laboratoire de zoologie de Louvain (Belgique) au sein duquel nous avons mené nos expériences. Les toxines Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1C, et Cry1E ont été préparées par digestion protéolytique de protoxines avec de la trypsine, puis purifiées par chromatographie liquide à haute pression et quantifiées selon la méthode décrite dans (14). Les solutions de stockage ont été préparées dans 20 mM Tris-HCl–150 mM NaCl (pH 8,6) conservées à -270°C. Les dilutions ont été faites aux concentrations appropriées juste avant leur utilisation dans une solution saline de tampon (NaCl, 154 mM; KCl, 2,68 mM; CaCl<sub>2</sub>, 1,8 mM; NaHCO<sub>3</sub>, 0,7 mM; D-glucose, 11,1 mM; pH 7) (Cerstiaens *et al.*, 2000).

Nous avons utilisé les doses suivantes :

- Cry1C par intubation 15µg/10µl,
- Cry1C par ingestion 24µg/12µl,
- Cry1C par ingestion 0,5µg/6µl,
- Cry1C par injection 0,5µg/6µl,
- Cry1E, Cry1Aa, et Cry1Ab par injection 6µg/6µl.

#### 2-4- Méthodes d'administration des toxines

Les larves synchronisées et isolées sont laissées à jeun dans des boîtes de Pétri pendant 24 h afin de les affamer. Les individus testés reçoivent une solution de toxines de *B.t* selon 3 modes d'administration.

- Par intubation ou forçage buccal,
- Par injection de la dose de toxine sous le pronotum,
- Par ingestion de la dose de la toxine sur des pastilles préalablement imprégnées.

Les larves ont reçu des injections latérales au milieu du corps avec une seringue Hamilton (20 µl). Pendant l'injection, l'aiguille est maintenue parallèlement à la cuticule pour éviter toute blessure des tissus internes. Les différentes toxines testées sont dissoutes dans une solution saline à la concentration appropriée et administrées à raison de 2 µl d'une dose donnée pour 0,2 g de poids frais de la larve. Ainsi, chaque larve a reçu la même dose relativement à son poids. Les individus contrôles ont reçu une injection avec le même volume de solution tampon saline.

## 2-5- Effets sur le gain de poids des larves

Pour évaluer les effets des toxines injectées sur l'inhibition de l'incorporation des nutriments de *L. migratoria*, les larves ont été pesées individuellement avant (T0) et 48 h après (T48) le traitement. La croissance des larves a été exprimée par l'accroissement relatif du poids frais en pourcentage :  $(T48 - T0) \times 100/T0$ .

## 3- Etude de l'influence de quelques peptides synthétiques sur la reproduction des femelles

### 3-1- Introduction

Depuis plus de 10 ans, des données immunohistochimiques sur les peptides reliés au FMRFamide (FaRP's) ont été largement rapportées, suggérant de nombreux rôles possibles de ces peptides dans le comportement, la physiologie et la reproduction (Schoofs *et al.*, 1993). Cette famille comprend des peptides caractérisés par un résidu Arginine en avant dernière position et un acide aminé hydrophobe en position C-terminale. La plupart d'entre eux ont été identifiés grâce à leur liaison à des antisérums spécifiques, par leur réponse aux bioessais de FMRFamide et par la présence de précurseurs de FMRFamide. Récemment, deux NPY-like peptides (NPFs) extraits du Doryphore, *Leptinotarsa decemlineata*, ont été décrits, accroissant ainsi la collection déjà longue des RFamides. Une réaction radioimmunologique très spécifique des NPF a été utilisée pour conduire le processus de purification et les peptides isolés ont été désignés par *Led-NPF-1* (Ala-Arg-Gly-Pro-Gln-Leu-Arg-Leu-Arg-Phe-NH<sub>2</sub>) et *Led-NPF-2* (Ala-Pro-Ser-Leu-Arg-Leu-Arg-Phe-NH<sub>2</sub>).

Chez *Locusta*, le titre des FMRFamide-like augmente dans l'hémolymphe durant le cycle vitellogénique, mais chute après l'oviposition (Sevala *et al.*, 1993). Les effets des deux F-related neuropeptides extraits du Doryphore, *Led-NPF-1* et *Led-NPF-2* ont été testés sur le développement ovarien du Criquet migrateur africain.

### 3-2- Elevage et préparation des criquets

Des larves de stade 5 sont isolées dès la 5<sup>ème</sup> mue larvaire dans des cages séparées pour obtenir des imagos femelles synchronisées. Ces individus sont maintenus dans les conditions photo-thermopériodiques de la salle d'élevage, à  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  et 12 h/24 h de photopériode. La nourriture est constituée de gazon et de flocons de maïs quotidiennement renouvelés. Les femelles ayant mué le même jour sont disposées dans des lots séparés en individus témoins et individus sur lesquels seront réalisés les différents traitements par injection des peptides. Chaque individu est marqué par un petit cercle coloré, portant un numéro collé sur la partie latérale du pronotum.

### 3-3- Injections et doses utilisées

Deux doses de chaque peptide respectif (NPF 1 et NPF 2) ont été injectées. Différentes expériences ont été entreprises :

- Aux doses 0,5 µg et 0,05 µg pendant 10 jours à partir de l'émergence,
- Aux doses 0,005, 0,05 µg et 0,5 µg, pendant 5 jours à partir du 6<sup>ème</sup> jour après émergence.

Des femelles prises 6 h après leur mue imaginale reçoivent des injections avec une seringue Hamilton à travers la membrane dorsale entre les 2 premiers segments abdominaux. Les différentes doses testées sont dissoutes dans de l'eau distillée et administrées en volumes de 10 µL par individu. Les injections sont faites une à deux fois par jour selon les expériences.

Les individus témoins sont injectés avec le même volume d'eau distillée. Pour éliminer les variations intraspécifiques des locustes, les individus testés et témoins sont élevés ensembles dans des sous-compartiments de la même cage avant et pendant les expériences.

### 3-5- Dissection des femelles et analyse de l'état ovarien

Les individus femelles témoins et traités sont disséqués sous la loupe binoculaire après les périodes de traitement étudiées (J2, J4, J6, J8, J10, J11 ou J9). Les tailles des ovocytes de base sont mesurées de la même manière que pour les individus traités avec *B. subtilis* et comparées à celles établies dans l'index ovarien des femelles témoins. Les moyennes ont été comparées par un test t de Student.

## VII- Analyses statistiques

### 1- Analyses de variance (SYSTAT vers. 7.0, SPSS 1997)

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (classes de précipitations, classes d'altitude, type de végétation, présence-absence de mauvaises herbes, etc...), il est préconisé de réaliser une analyse de variance. Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour *ANalysis Of VAriance*), la distribution de la variable quantitative doit être normale. Dans certains cas, une transformation logarithmique a été nécessaire afin de normaliser cette distribution. Lorsque plus de 2 modalités interviennent par facteur, nous avons appliqué en outre le test de Tukey qui intervient après l'ANOVA. Il permet de vérifier la significativité de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités. Si par exemple, il y a 3 classes de précipitations, on compare la variable entre les classes 1 et 2, puis 1 et 3, et enfin 2 et 3.

Dans les cas où aucune transformation ne parvient à normaliser la distribution, une analyse de variance en condition non paramétrique a été effectuée (test de Kruskal-Wallis).

Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (GLM). Par exemple, si on désire connaître l'effet des facteurs A, B et C et seulement l'interaction entre A et C, il suffit de sélectionner explicitement ces 4 catégories.

### 2- Analyses discriminantes (SYSTAT vers. 7.0, SPSS 1997)

Pour comparer des ensembles (populations, espèces) caractérisés par plusieurs variables quantitatives (coordonnées x-y-z sur plusieurs axes, mesures), on effectue une analyse discriminante en considérant les ensembles comme des facteurs. Le résultat fourni est une estimation d'un F-ratio et la probabilité associée à ce coefficient.

### 3- Corrélations-régressions (SYSTAT vers. 7.0, SPSS 1997 et Excel™)

Lorsque 2 variables quantitatives varient conjointement, on doit mesurer la significativité du coefficient de corrélation. En conditions paramétriques, il s'agit du coefficient r de Pearson et en conditions non paramétriques, du coefficient rho de Spearman. L'équation de la droite de régression est calculée lorsque les distributions sont en accord avec la normalité et que le coefficient de Pearson est significatif.

Pour enlever l'effet d'une variable quantitative C corrélée à une variable d'intérêt V, on calcule l'équation de la droite de régression ( $y = ax + b$ ) puis les résidus de cette régression.

Ces résidus sont calculés en retranchant les valeurs réelles ( $V_i$ ) de la variable d'intérêt aux valeurs prédites par l'équation de la droite. On a donc :  $\text{Résidu}(i) = V_i - (aC_i + b)$ .

*4- Régression logistique (JMP vers. 5.0, S.A.S, 2002)*

Lorsque la présence-absence d'un objet (espèce par exemple) dépend de la valeur d'une variable quantitative (nombre d'espèces végétales par exemple), le test préconisé est une régression logistique.

*5- Analyses multivariées (PAST vers. 1.37, Hammer et al., 2001)*

Dans le cas de variables de type présence-absence, ou de variables semi quantitatives (indice de recouvrement par exemple), on doit effectuer une A.F.C. (Analyse factorielle des Correspondances). La classification hiérarchique des facteurs lignes ou colonnes se fait en considérant les coordonnées sur premiers axes, de telle sorte qu'au moins 50 % de la variance cumulée soit observée. Deux mesures de distances ont été prises en compte : la distance euclidienne des points avec le logiciel PAST et le moment centroïde d'ordre 2 avec le logiciel GTABM (Quris, 1997). L'agglomération est à lien simple.

Dans le cas de variables quantitatives issues de mesures, on effectue une ACP (Analyse en Composantes Principales). La classification hiérarchique se fait avec les mêmes conditions que dans le cas de l'A.F.C.

## CHAPITRE III. RESULTATS

### I- Variations temporelles de la distribution de *L. migratoria* en Algérie

#### 1- Distribution géographique actuelle de *Locusta migratoria* en Algérie

Les densités enregistrées actuellement au nord sont généralement très faibles et les individus isolés passent facilement inaperçus. Il n'en est pas de même dans le sud algérien, où les pratiques agricoles favorisent le développement de populations de ce ravageur.

Il est utile de signaler que certaines régions du nord algérien, notamment orientales et occidentales sont jusqu'alors sous prospectées d'où une connaissance très incomplète de la répartition de ce ravageur. En revanche, la connaissance de la présence de cette espèce dans le sud algérien est relativement plus satisfaisante grâce aux prospections acridiennes des services de la protection des végétaux.

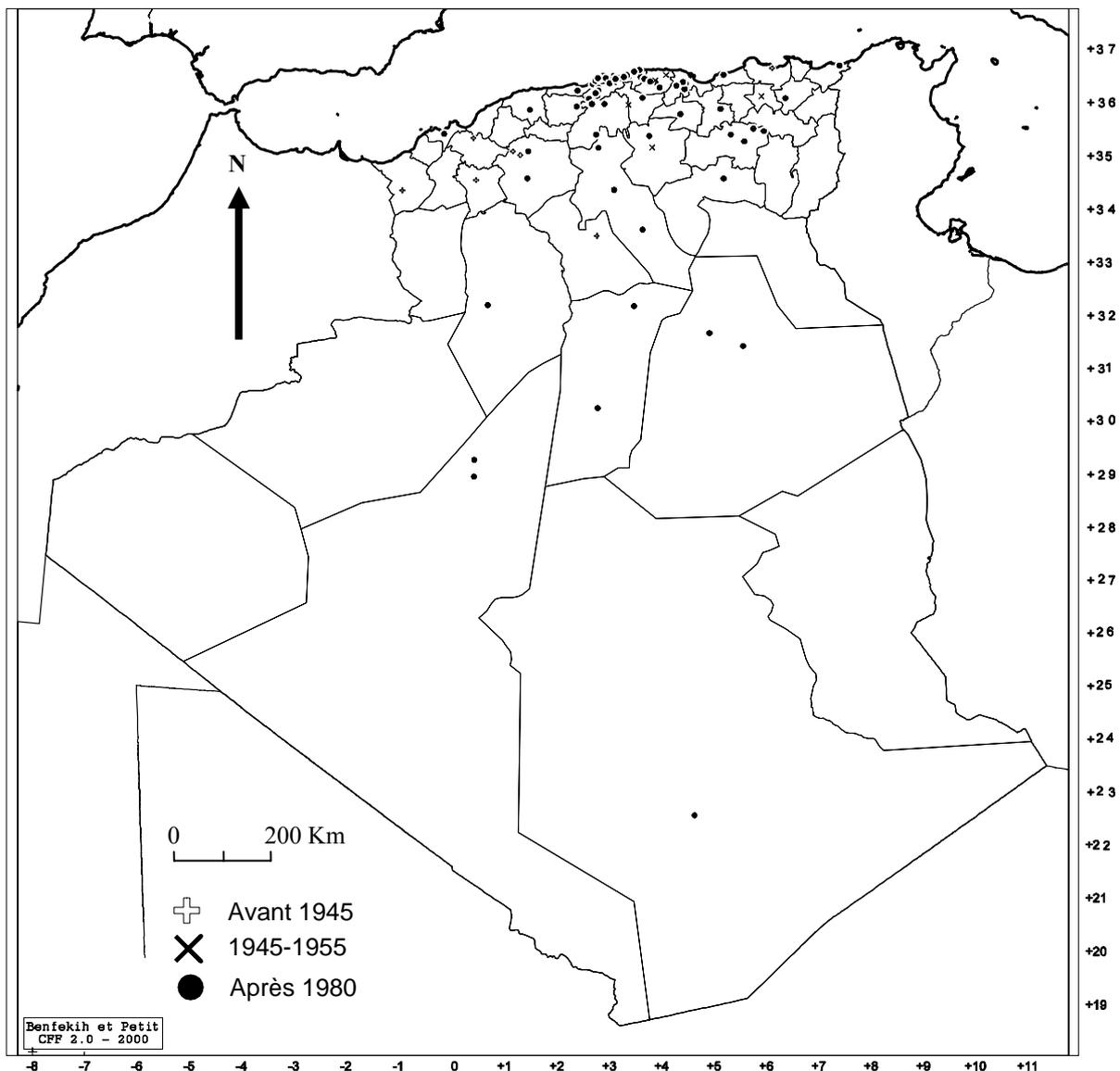


Figure 19. Distribution générale de *Locusta migratoria* en Algérie.

Cette espèce occupe actuellement tout le territoire algérien (fig.19) mais elle est très inégalement répartie. D'après les données recueillies, nous l'avons recensée au nord depuis Tlemcen à l'ouest jusqu'à El Kala à l'est, sur la frange littorale et les plaines de l'atlas tellien proches de la côte (fig. 20). Par ailleurs, on la trouve également dans les hautes plaines telliennes (Bordj Bou Arreridj à l'est) ainsi que dans les hauts plateaux steppiques (Naama à l'ouest, Batna à l'est).

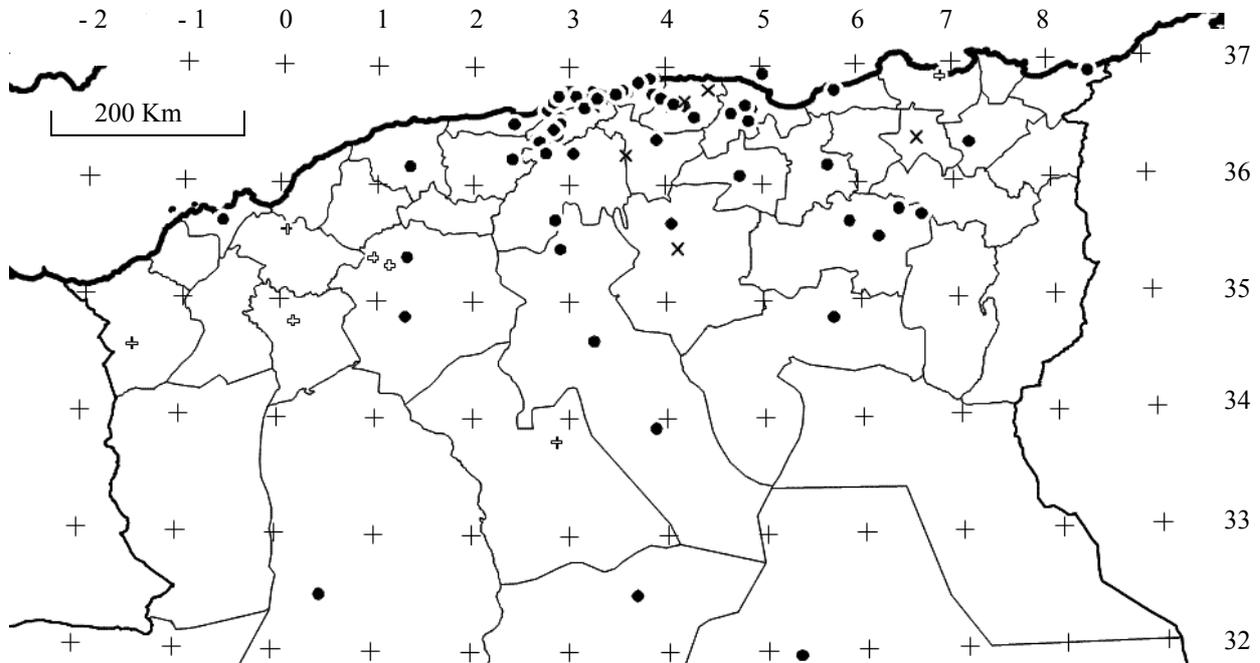


Figure 20. Répartition de *L. migratoria* dans le nord algérien. Mêmes symboles que dans la figure 19.

Dans le sud, on la rencontre dans certaines régions du Sahara septentrional (Biskra et El Oued à l'est, Ghardaia et Ouargla à l'ouest) et dans les périmètres irrigués dans le Sahara central au sud de la région d'Adrar. A l'extrême sud, elle a été observée à Abalessa près de Tamanrasset.

## 2- Bioclimogramme actuel de *Locusta migratoria*

Le graphe de la figure 21, obtenu grâce à 49 localités, montre que cette espèce présente un maximum de fréquence dans deux secteurs discontinus, l'un au nord algérien et l'autre dans le Sahara.

Dans la zone nord, les fréquences de *L. migratoria* sont maximales dans les localités du semi-aride supérieur à hiver chaud et les localités situées entre le subhumide et l'humide à hiver doux. Dans le sud algérien, l'espèce est confinée à l'étage Saharien à hiver doux ou chaud.

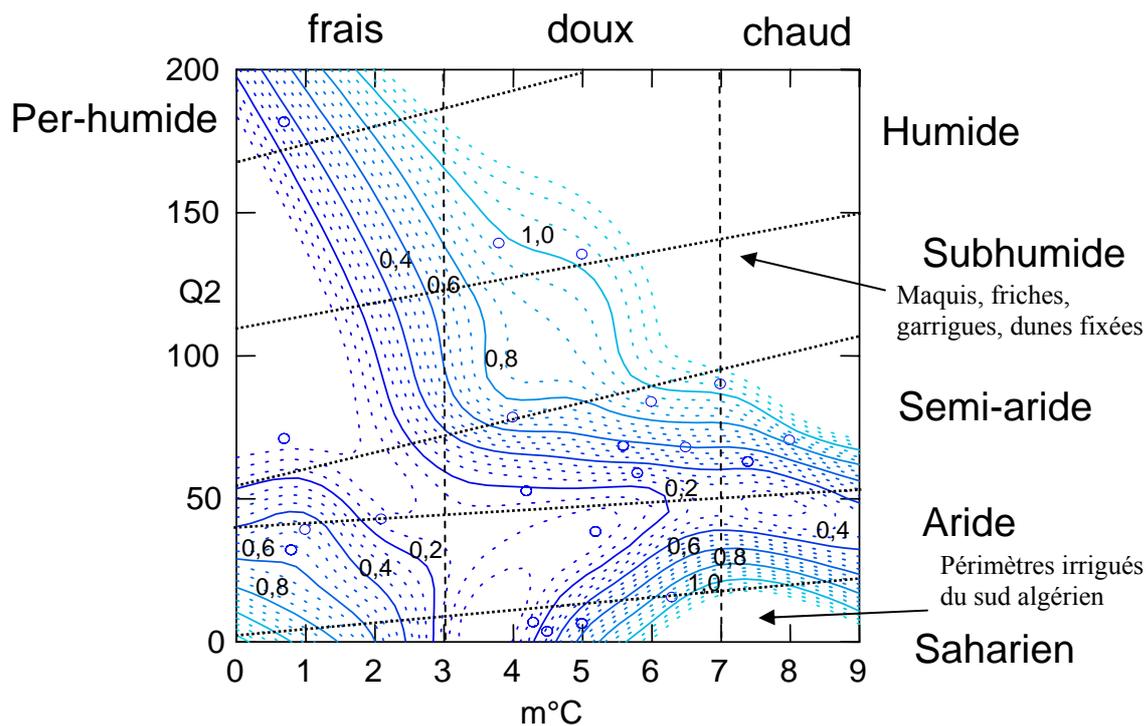


Figure 21. Fréquence de *Locusta migratoria* dans le bioclimogramme d'Emberger en Algérie. Les limites d'étages sont établies d'après Daget, 1977.

La présence de *L. migratoria* augmente lorsque la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m°C) est plus élevée. Cette relation se vérifie dans la partie nord algérienne (fig. 22A : régression logistique, N = 38, p = 0,056) et dans la partie sud (fig. 22B : régression logistique, N = 12, p = 0,028). On peut préciser que cette présence de *L. migratoria* est liée à une moyenne de m se situant autour de 5°C.

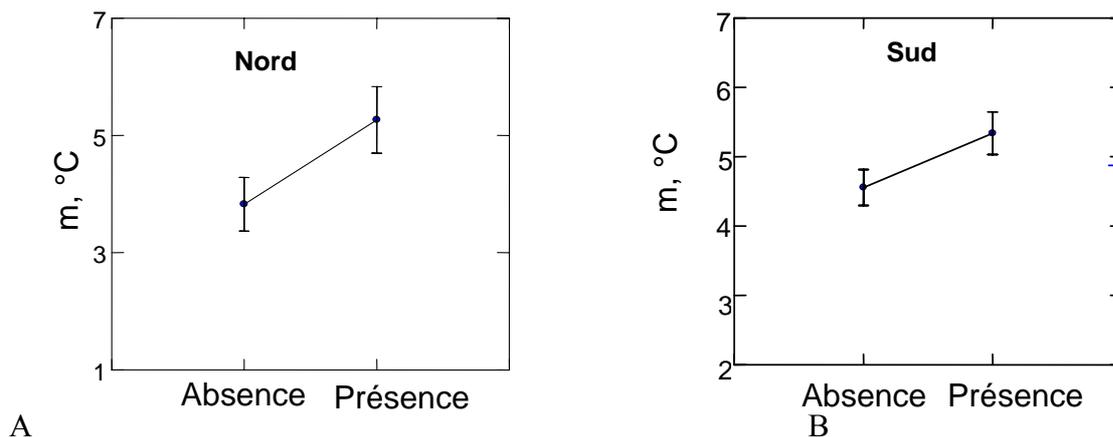


Figure 22. Absence-Présence de *L. migratoria* selon la moyenne des minima du mois le plus froid (A : Nord ; B : Sud).

Par contre, celle-ci ne dépend ni des précipitations annuelles (P, en mm) ni du coefficient pluviométrique Q2 d'Emberger-Sauvage. Dans la partie nord, la régression logistique donne N = 38 et p > 0,1 et dans la partie sud, N = 12, p > 0,2 pour P et Q2.

### 3- Influence de la flore et de la végétation sur la répartition actuelle de *L. migratoria*

Les biotopes étudiés dans le nord algérien ont été classés en 3 catégories : les milieux naturels, les friches et les milieux cultivés. Les milieux naturels regroupent les maquis, les garrigues et les strates herbacées sous forêts. La présence du criquet migrateur ne varie pas significativement selon les 3 catégories de milieux (Kruskal-Wallis,  $N = 37$ ,  $p > 0,2$ ).

En revanche, cette fréquence dans le nord est favorisée par une grande richesse floristique globale (fig. 23, régression logistique,  $N = 37$ ,  $p < 0,01$ ). Elle dépend également de la richesse des stations en graminées et en non graminées (régression logistique,  $N = 37$ ,  $p = 0,01$  dans les 2 cas).

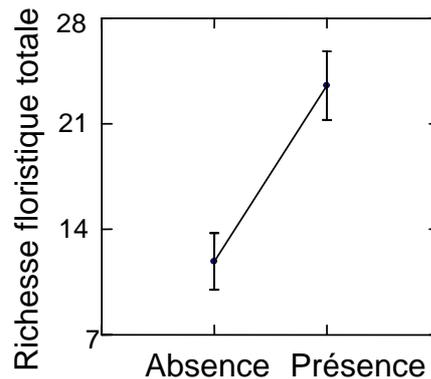


Figure 23. Absence-Présence de *L. migratoria* dans le Nord algérien selon la richesse floristique totale ( $N = 37$ ).

Ces liaisons s'expliquent dans la mesure où la richesse floristique totale est elle-même proportionnelle au nombre de graminées et de non graminées dans les différentes localités (tab. 30).

Tableau 30. Corrélations de Pearson entre les richesses floristiques globales, graminéennes et non graminéennes dans le nord ( $N = 37$ ). \*\* :  $p < 0,01$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$ .

	Total	Graminées	non Graminées
Total	-		
Graminées	0,478 **	-	
Non Graminées	0,968 ***	0,245	-

Dans le sud algérien, le criquet migrateur se trouve dans des cultures sous palmeraie et des cultures irriguées par le système des pivots, dans les zones oasiennes et les périmètres de mise en valeur du Sahara méridional. Cette espèce peut se rencontrer exceptionnellement au niveau de milieux rocailleux ou rocheux, comme nous l'avons constaté à Biskra entre l'Atlas saharien et le Sahara septentrional.

Au Sahara, la présence de *L. migratoria* est indépendante du nombre d'espèces végétales et en particulier du nombre de Graminées (régression logistique,  $N = 12$ ,  $p > 0,4$  dans les deux cas). La seule corrélation positive au sein des localités étudiées ne concerne que des paramètres floristiques : richesse floristique totale et nombre d'espèces non graminéennes ( $N = 12$ ,  $r = 0,942$ ,  $p < 0,001$ ).

### 4- Distribution ancienne de *Locusta migratoria* en Algérie

Les données anciennes répertoriées dans l'ouvrage de Chopard (1943) concernent les régions

d'Oran, Chabet El Aneur, Lalla Maghnia, Philippeville (Skikda), Laghouat, Hammam Bou Hadjar, Perrégaux (Mohammadia), Biskra, Saïda et la Calle (El Kala).

Des données plus récentes, entre 1944 et 1956, sont répertoriées dans les collections du département de zoologie agricole et forestière de L'INA (Institut National Agronomique d'El Harrach) et portent sur des individus de *L. migratoria* capturés près d'Alger : à Fort de l'eau (Reghaïa), Hamiz, Rouiba, Chaabet El Aneur ; en Kabylie à Tigounatine, Tamda et Tala Amara ; près de Constantine, près de M'sila à Aïn Khermane, et à Bir Ghabalou dans la région de Bouira.

#### 5- Influence du changement climatique global sur la distribution de *L. migratoria* dans le Nord Algérien

Dans la mesure où les données climatiques anciennes pour les régions où *L. migratoria* a été signalé sont très incomplètes, nous avons préféré utiliser une approche indirecte des variations de la distribution par des méthodes de régression. Plus précisément, nous avons cherché des liaisons entre les paramètres m et P avec des variables géographiques physiques, entre autre l'altitude et la distance à la mer.

##### 5-1- Variations temporelles du paramètre m dans les différentes régions

Nous nous proposons de comparer les données anciennes de Seltzer (1913-1938) et les récentes (1975-2000). Si on trace dans un même graphe la droite de régression des points (ligne en gras) et la diagonale représentant l'hypothèse d'une absence de changement de température (tiretés), on remarque que les valeurs de m n'augmentent pas uniformément (fig. 24).

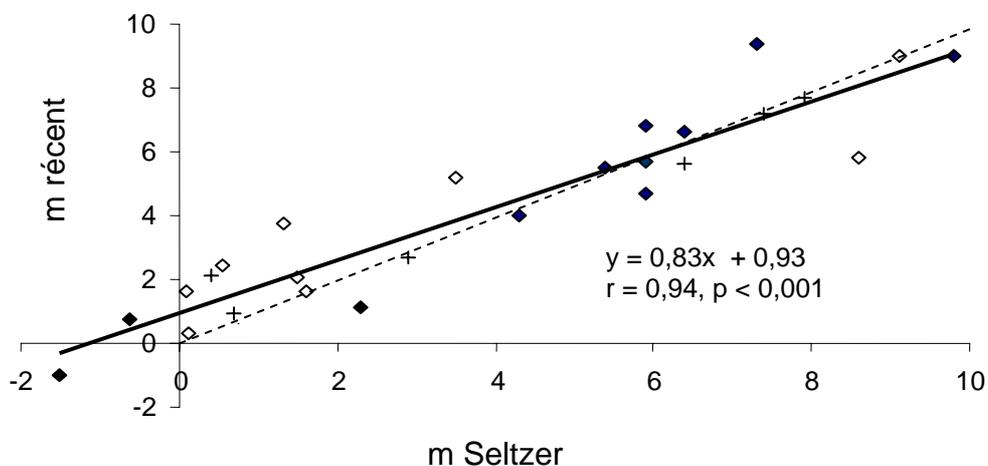


Figure 24. Corrélation entre les valeurs de m°C (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) pour les 2 périodes (27 localités).

Losanges clairs : région occidentale, losanges noirs : région centrale, croix : région orientale. La ligne en pointillés indique l'invariabilité des valeurs.

Si l'on considère les trois régions du territoire algérien (orientale, centrale et occidentale), on peut calculer les équations des droites de régression pour chacune de ces régions. Les régions littorales où m est fréquemment au dessus de 6°C ne subissent pas de réchauffement : pour m = 8°C, on constate même une diminution de 0,4°C. En revanche, lorsque m se situe au dessous de 5°C, on constate un réchauffement d'autant plus important que l'hiver est frais : pour m = 0°C, l'augmentation est de 0,9°C, alors que pour m = 3°C, elle n'est que de 0,4°C (tab. 31).

Tableau 31. Variations des valeurs de m dans les 3 régions du Nord Algérien, entre les données de Seltzer et les récentes.

	Equations	r et probabilité	m = 0°C	m = 4°C	m = 8°C
Région occident.	$y = 0,7484x + 1,217$	$r = 0,917$ $p < 0,001$	+ 1,2 °C	+ 0,2°C	-0,8°C
Région centrale	$y = 0,9306x + 0,356$	$r = 0,920$ $p < 0,001$	+ 0,35°C	+ 0,1°C	-0,2°C
Région orientale	$y = 0,8892x + 0,647$	$r = 0,982$ $p < 0,001$	+ 0,65°C	+ 0,2°C	-0,25°C

La région occidentale est celle où le réchauffement des localités à hiver frais est le plus important, puisque pour une valeur de  $m = 0^{\circ}\text{C}$ , le gain est de 1,2 °C, contre 0,35 et 0,65 respectivement pour les régions centrale et orientale.

5-2- Variations temporelles du paramètre P dans les différentes régions

Pour comparer les données récentes et anciennes des précipitations, nous avons tenu compte des distances de 27 localités par rapport à la mer Méditerranée.

Les précipitations diminuent selon une loi exponentielle avec la distance à la côte (fig. 25). L'écart entre les courbes de régression des précipitations pour les périodes anciennes et récente est relativement constant tant que la distance n'excède pas 200 Km. On ne peut pas appliquer ces équations de régression aux stations qui sont situées au-delà de cette distance, comme Laghouat (338 Km environ), car le régime des pluies y est plus saharien que méditerranéen (Barry et Celles, 1976).

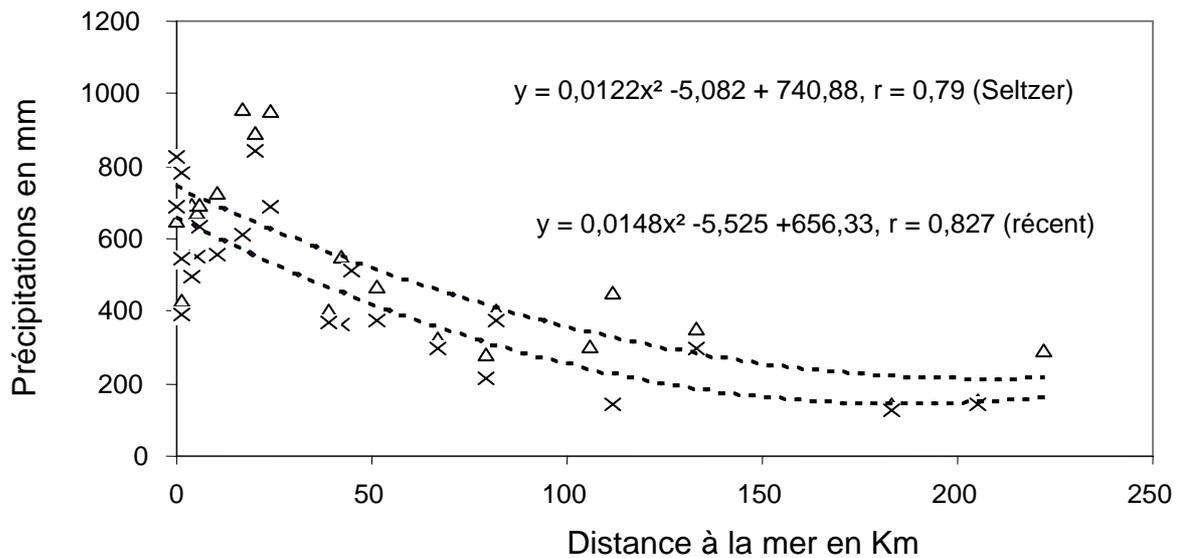


Figure 25. Variations des précipitations annuelles en fonction de la distance à la mer, dans les 2 périodes considérées. Triangles : Seltzer, croix : récent.

Entre les 2 périodes, il y a eu une diminution des précipitations annuelles de l'ordre de 80 à 100 mm, quelle que soit la distance par rapport à la côte méditerranéenne.

5-3- Facteurs significatifs influençant la modification de la distribution de *L. migratoria*

Dans la mesure où il existe des corrélations entre la distance à la mer et P d'une part, et entre l'altitude et m d'autre part, nous pouvons tester si la distribution de *L. migratoria* a varié dans le sens d'un rapprochement ou d'un éloignement par rapport à la mer, ou une élévation ou un abaissement altitudinal. Nous avons donc comparé les valeurs d'altitude et d'éloignement par rapport à la mer entre les 3 périodes par des ANOVA.

Nous n'avons pas mis en évidence de variations de la distribution selon les altitudes (ANOVA, N = 68,  $F_{2,65} = 0,664$ ,  $p > 0,5$ ), ce qui montre que les minima des températures hivernales (m) ne sont pas un facteur limitant. En revanche, il y a une différence significative (ANOVA, N = 68,  $F_{2,65} = 3,25$ ,  $p = 0,045$ ) de la répartition dans le sens d'un rapprochement par rapport aux zones littorales, ce qui signifie l'importance cruciale d'une certaine quantité de précipitations (fig. 26).

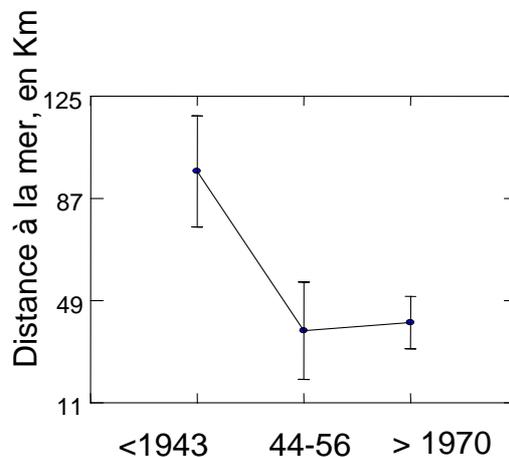


Figure 26. Variations de la distribution de *L. migratoria* dans 3 périodes, selon la distance à la mer des localités.

Ce résultat va dans le sens des conclusions issues du bioclimagramme de la partie nord de l'Algérie, où nous avons montré une association entre une valeur du Q2 supérieure ou égale à 100 et une forte fréquence de l'espèce, à condition que les températures minimales de janvier soient douces.

## II- Acridofaune associée à *Locusta migratoria* en Algérie

Une AFC conduite sur le tableau des 56 relevés et des 98 espèces de Caelifères a permis de construire une classification hiérarchique calculée à partir des coordonnées des espèces sur les 5 premiers axes factoriels. Il est apparu 7 groupes de taille inégale (annexe 1). Le groupe 1 associé à *L. migratoria* comprend 17 espèces mentionnées dans le tableau 32.

Tableau 32. Groupements acridologiques déduits de la classification hiérarchique

<i>Acrida turrata</i> , <i>Acrotylus longipes</i> , <i>Acrotylus patruelis</i> <i>Aiolopus strepens</i> , <i>Aiolopus thalassinus</i> , <i>Anacridium aegyptium</i> , <i>Duroniella lucasi</i> , <i>Euchorthippus albolineatus</i> , <i>Eyprepocnemis plorans</i> <b><i>Locusta migratoria</i></b> <i>Ochrilidia harterti harterti</i> , <i>Ochrilidia rothschildi</i> <i>Ochrilidia tibialis</i> <i>Paratettix meridionalis</i> <i>Pyrgomorpha cognata</i> . <i>Tenuitarsus angustus</i> ,	<i>Acanthacris ruficornis citrina</i> <i>Acrotylus insubricus</i> <i>Heteracris adpersus</i> <i>Heteracris annulosus</i> <i>Heteracris harterti harterti</i> <i>Morphacris sulcata</i> <i>Ochrilidia geniculata</i> <i>Ochrilidia gracilis</i> <i>Ochrilidia kraussi</i> <i>Wernerella pachekoi</i>  Groupe 2	<i>Acinipe hesperica</i> <i>Acinipe tibialis</i> <i>Dericorys millierei</i> <i>Dociostaurus maroccanus</i> <i>Euryparyphes quadridentatus</i> , <i>Euryparyphes sitifensi</i> <i>Ocneridia microptera</i> <i>Pamphagus marmoratus</i> , <i>Paracinema tricolor</i> <i>Sphingonotus finotianus</i> , <i>Sphingonotus luteus</i> , <i>Stenobothrus amoenus</i> <i>Thmetis cisti</i> <i>Thmetis pulchripennis</i>  Groupe 3
--	--	---



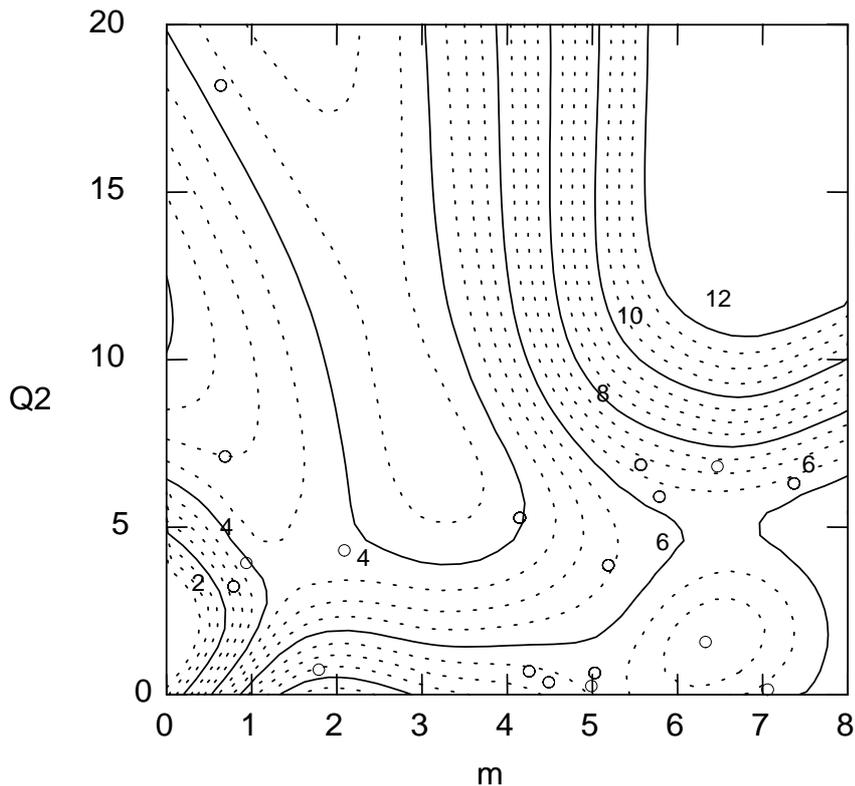


Figure 27. Climagramme disjoint de l'Acridofaune associée à *Locusta migratoria* (groupe 1 du tableau 31). Les nombres situés au voisinage des limites correspondent au nombre d'espèces de Caelifères rencontrées dans les localités.

## 2- Ecologie des autres groupements acridiens

Nous avons reporté les bioclimagrammes des autres groupements acridiens en annexe 2.

Le groupe 2 se rencontre dans des friches à proximité de terrains cultivés, dans les plaines orientales de l'Atlas Tellien, ainsi que dans le nord du Sahara au niveau des cultures sous palmeraie. Le bioclimagramme correspondant ressemble à celui du groupe 1, mais avec une préférence plus accentuée pour les localités sahariennes.

Le groupe 3 comprend des espèces propres à la région de Sétif, dans les hautes plaines telliennes, dans des maquis, pâturages et friches, dont les exigences climatiques concernent des localités à hiver frais du semi-aride.

Le groupe 4 est le plus riche en espèces acridiennes (29 espèces). Il est représenté dans les friches et maquis des hautes plaines sud constantinoises, sud algéroise et sétifiennes, ainsi que des plaines de l'Atlas Tellien, et certains milieux du littoral tels que les dunes. Il se concentre selon un gradient s'étalant de l'humide à hiver frais au semi-aride à hiver doux.

Le groupe 5 ne contient que 4 espèces inféodées à la région de Guérara, au niveau des cultures sous palmeraie, et qui sont limitées à l'étage saharien.

Le groupe 6 se retrouve dans les hauts plateaux steppiques de l'est algérien, au niveau des monts du Belezma, ainsi qu'au Sahara septentrional dans la région de Biskra. Les différentes espèces sont surtout rencontrées dans les strates herbacées des friches et des cultures sous palmeraie, entre les limites des étages arides et sahariens, à hiver chaud.

Le groupe 7, principalement représenté à Tamanrasset, est présent en trop peu de localités pour être caractérisé du point de vue de la climatologie.

### III- Etude des populations naturelles de *L. migratoria* dans les périmètres irrigués sous pivot dans le Sahara algérien

#### 1- Situation géographique des populations de *L. migratoria*

D'après les données d'archives de l'Inspection de Protection des végétaux d'Adrar (1995-1999), les signalisations de *L. migratoria* occupent un grand nombre de périmètres irrigués de mise en valeur.

#### 1-1- Répartition

La carte de la figure 28 a été obtenue en fusionnant sous Photoshop (ADOBE™) la carte de Barry et Celles (1976) et la carte obtenue avec DFF (Barbier et Rasmont, 2000).

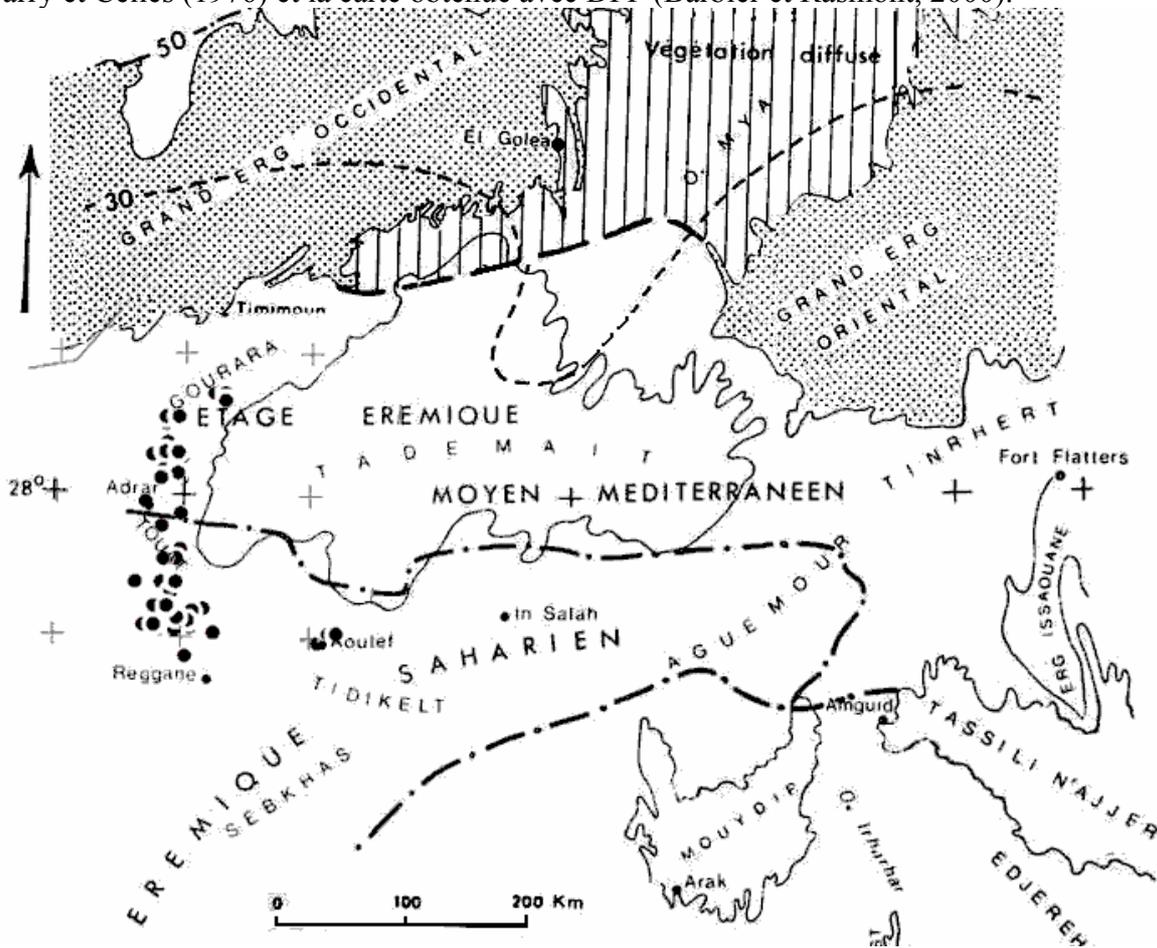


Figure 28. Signalisations de *L. migratoria* dans les périmètres de mise en valeur dans le Sahara algérien (d'après Barry et Celles, 1976, modifié).

Les zones de mise en culture où sont confinées les populations de *L. migratoria* se trouvent dans l'étage éremique saharien, dans la région du Touat-Gourara, en dessous de l'isohyète 30 mm (fig. 28). Elles sont limitées vers l'est par le plateau de Tademaït, et vers le nord par le

grand erg occidental et correspondent à une répartition de part et d'autre du 28<sup>ème</sup> parallèle, avec une plus forte concentration vers 27° de latitude.

### 1-2- Variations densitaires des populations de *L. migratoria*

Grâce aux données enregistrées (183 fiches) dans les archives de l'INPV, nous avons considéré les densités maximales de la mi-avril jusqu'au début de juin. Nous remarquons que la densité imaginaire de *L. migratoria* est liée à la latitude : les populations sont d'autant plus denses que l'on va vers le sud (localités de Zaouiet Kounta et In Zegmir). Au delà d'une latitude plus élevée (28°N), les densités sont plus faibles dans les localités de Sbaa, Guérara, Tsabit et Aougrou. L'analyse de corrélation (fig. 29) entre la latitude et le Log de la densité est négative et hautement significative (183 pivots à *Locusta*,  $r = -0,25$ ,  $p < 1 \%$ ).

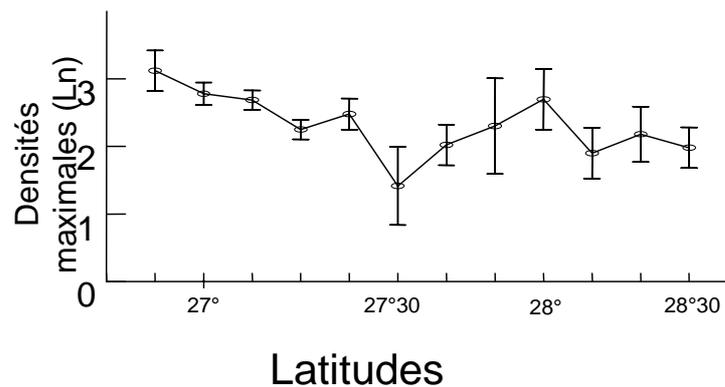


Figure 29. Relations entre les latitudes et les densités maximales de *L. migratoria* (mi-avril à début juin). Entre 27°30' et 28°, les stations sont sous représentées, d'où des erreurs standards élevées (S.E.M.).

## 2- Cycle de vie des populations sur pivot

### 2-1- Exploitation des données de l'INPV dans la région d'Adrar

Nous avons analysé les données complètes des archives de l'INPV des années 1995 et 1996 pendant lesquelles le plus grand nombre d'observations de *L. migratoria* ont été enregistrées, en association avec la recrudescence du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*). A partir des 272 enregistrements en 1995, nous avons calculé les fréquences de présence des larves et les moyennes de densité des adultes par semaine. De 1997 à 1999, les observations concernant les apparitions de *L. migratoria* ne sont mentionnées qu'entre la fin mai et juillet, période estivale durant laquelle l'espèce est particulièrement présente sur le terrain.

#### 2-1-1- Variations des recouvrements des principales cultures colonisées par *L. migratoria*

Dans la région d'Adrar, en 1995, les céréales d'hiver et les maraîchages sont les principales cultures où l'on rencontre *L. migratoria* en début de campagne vers la 2<sup>ème</sup> quinzaine de février (fig. 30). Le recouvrement en céréales diminue nettement à partir de la fin du mois d'avril. Cette diminution s'accroît jusqu'à la fin juin en raison des moissons. En revanche, les recouvrements en cultures fourragères augmentent vers la fin du mois d'avril, atteignent une valeur maximale au courant de la mi-mai, puis diminuent progressivement jusqu'à la fin juin, en raison des fauches destinées à l'élevage du bétail.

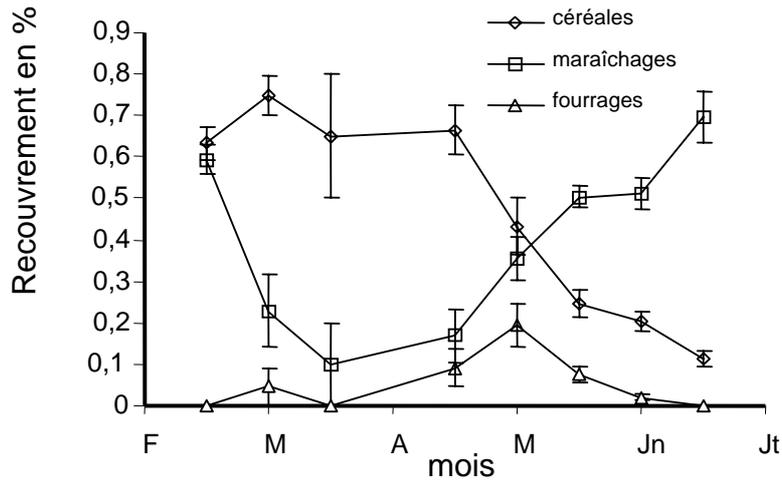


Figure 30. Variations des pourcentages de recouvrements des principales cultures colonisées par *Locusta migratoria* (Adrar, 272 fiches en 1995).

Alors que nous observons de faibles recouvrements en maraîchage pendant le mois de mars, l'occupation du sol en cultures légumières tend à augmenter considérablement durant la saison printano-estivale.

#### 2-1-2- Fluctuations mensuelles de fréquences larvaires de *L. migratoria*

L'activité des larves débute à partir de la fin de la dernière semaine de mars jusqu'à la fin du mois de mai. On observe deux pics de présence de jeunes larves, avec un premier maximum dans la 2<sup>ème</sup> semaine d'avril et une deuxième à partir de la mi-mai (fig. 31). Notons que le creux qui sépare les 2 pics est peu accentué. Les individus des stades 4 et 5 présentent également ces 2 pics pendant les mêmes semaines que celles mentionnées plus haut pour les jeunes larves. Les derniers individus de stade 4 et 5 sont signalés dans la dernière semaine de mai.

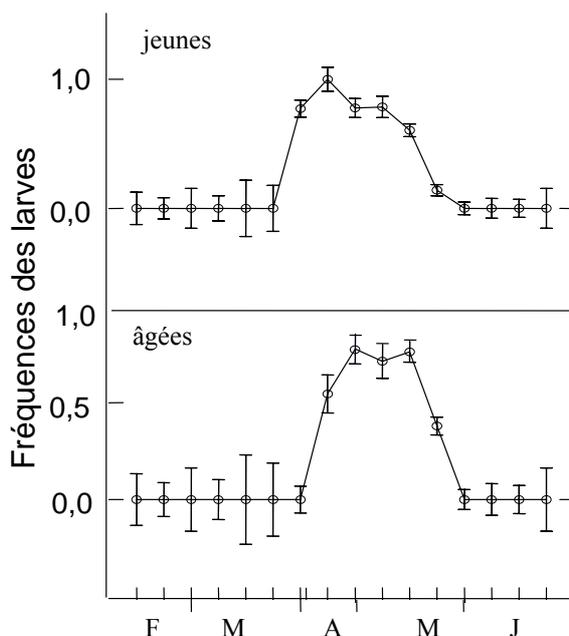


Figure 31. Evolution des fréquences des stades larvaires de *L. migratoria*.

Le double trait entre mars et avril est indiqué sur l'axe des abscisses (semaines) pour signifier l'absence de données pendant la 1<sup>ère</sup> quinzaine d'avril (Adrar, 272 fiches en 1995).

## 2-1-3- Fluctuations mensuelles des densités des adultes

Les densités globales des *L. migratoria* (nombre d'adultes par m<sup>2</sup>) apparaissent faibles durant le mois de février, elles diminuent progressivement jusqu'à mi-mars puis augmentent durant tout le mois d'avril (fig. 32).

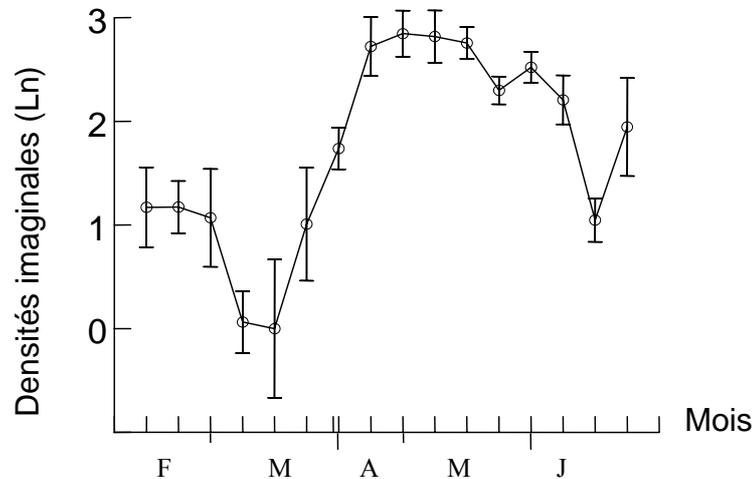


Figure 32. Fluctuations mensuelles des densités de *L. migratoria* (moyennes ± S.E.M.)

Le double trait entre mars et avril est indiqué sur l'axe des abscisses (semaines) pour signifier l'absence de données pendant la 1<sup>ère</sup> quinzaine d'Avril (Adrar, 272 fiches en 1995).

Les densités des imagos sont maximales de la mi-avril à la mi-mai. Il y a une diminution densitaire en début de juin qui correspond vraisemblablement à la disparition des adultes issus des premières pontes de la génération hivernante. La remontée observée des densités à partir de la 2<sup>ème</sup> semaine de juin serait due au recrutement de la génération estivante. Entre la fin mai et début juin, il aurait donc un chevauchement de 2 générations.

## 2-1-4- Cycle probable dans la région d'Adrar

Le cycle de *L. migratoria* à Adrar comprendrait au moins 2 générations annuelles. La première génération, que l'on qualifiera d'hivernante, se rencontre pendant la saison comprise entre octobre et janvier à l'état adulte et les femelles de cette génération pondent entre la fin février et début mars. La 2<sup>ème</sup> génération, que l'on qualifiera de printano-estivale, débute aux environs de la mi-mars où l'on commence à observer les jeunes larves. Les adultes de cette 2<sup>ème</sup> génération apparaissent vers la 2<sup>ème</sup> semaine d'avril. Ces adultes commencent à s'accoupler à partir de mai mais il est difficile de préciser jusqu'à quelle période, en l'absence de suivi estival des populations, entre juin et septembre. Selon notre interprétation, ce sont les derniers individus adultes de la génération estivante qui vont passer l'hiver à l'état de diapause imaginale. A partir de la fin mai jusqu'à la mi-juin au moins, il y a coexistence de 2 générations d'adultes.

## 2-2- Exploitation des données personnelles dans les régions d'Adrar et Ouargla

## 2-2-1- Influence de l'enherbement sur les densités

Les 18 relevés effectués par nous-mêmes à Adrar de janvier à mai ont eu pour but de rechercher l'influence de l'enherbement des périmètres irrigués plantés en céréales d'hiver et d'été sur les densités larvaires et imaginale de *L. migratoria*. Nous avons considéré les valeurs logarithmiques des densités de *L. migratoria* de manière à normaliser leur distribution.

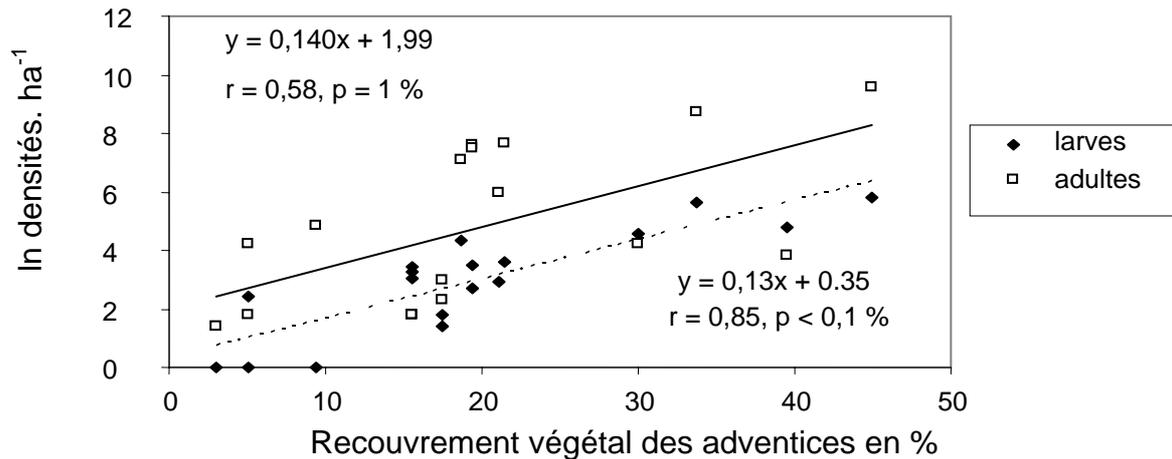


Figure 33. Relations entre les densités (logarithme des valeurs) et le recouvrement végétal en pourcentage.

Les densités des larves entre les mois de janvier et mai sont proportionnelles ( $p < 0,1 \%$ ) au taux de recouvrement végétal (fig. 33). Durant cette même période, on observe des adultes diapausants ayant passé la période hivernale, de janvier à mars, puis des imagos de la nouvelle génération à partir de la fin mai. Les densités des adultes de ces 2 générations confondues sont également proportionnelles au recouvrement végétal ( $p = 1 \%$ ).

Si l'on considère séparément les recouvrements des Dicotylédones et des Graminées, on constate que pour les larves, les densités sont proportionnelles à ces deux catégories de plantes ( $r = 0,64$ ,  $p < 1 \%$  et  $r = 0,507$ ,  $p < 5 \%$  respectivement). En revanche, la densité des adultes n'est corrélée positivement qu'avec le recouvrement des dicotylédones ( $r = 0,93$ ,  $p < 0,1 \%$ ) mais non à celui des graminées ( $p > 0,9$ ).

#### 2-2-2- Variations des densités larvaires

L'étude des densités larvaires porte sur 22 stations : 19 de décembre à juin dans la région d'Adrar et 3 de fin août à début octobre dans la région de Ouargla. Comme les densités larvaires dépendent de l'enherbement des cultures, nous avons commencé par éliminer l'effet de cet enherbement pour obtenir des densités corrigées. Pour ce faire, nous avons calculé les résidus entre les densités réelles et les densités prédites par le recouvrement de la culture où s'est effectuée l'observation (équations dans la figure 33).

Dans la mesure où nous n'avons pas fait de relevés de juin à la mi-août, nous avons attribué des valeurs arbitraires de densités à partir des observations de l'INPV pendant cette période, signalant l'extrême rareté des larves. Le graphe de la figure 34 illustre les variations corrigées des densités.

Les trois pics larvaires observés correspondent vraisemblablement à la succession de trois générations annuelles. Nos observations confortent donc nos hypothèses sur l'existence de 2 générations printanières et mettent en évidence une 3<sup>ème</sup> génération estivo-automnale.

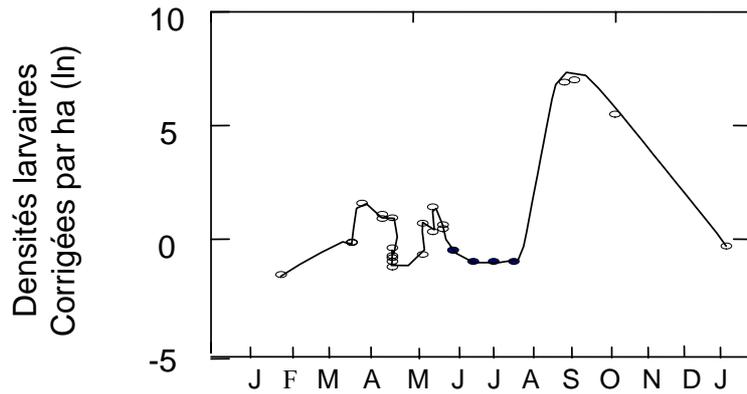


Figure 34. Variations corrigées des densités larvaires (transformations logarithmiques). La méthode de lissage employée est l'option Spline de SYTAT 7.0. Les points pleins correspondent aux valeurs arbitraires ajoutées à partir des signalisations de l'INPV.

### 2-2-3- Variations des densités imaginales

Nous avons appliqué la même méthodologie que dans le cas des larves, à savoir 22 relevés et corrections des densités à partir de l'équation de la droite de régression de la figure 33. Nous observons une forte variabilité temporelle des densités imaginales : cependant, les différents pics ne correspondent pas systématiquement aux pics observés chez les larves.

Par ailleurs, nous manquons également de données personnelles dans la période située entre mi-juin et la mi-août. Les équipes de prospections de l'INPV signalent la présence d'adultes dans les différents périmètres irrigués entre le début de juin et le début de novembre, sans précisions de densités.

### 2-3- Essai de synthèse du cycle de *L. migratoria* dans le sud algérien

Il ressort de l'analyse des deux sources d'étude (INPV et travaux personnels) que *L. migratoria* présenterait une succession de trois générations en milieux anthropisés céréaliers. La première génération, dite printanière, commence avec des larves à la mi-mars et des adultes à partir d'Avril. La deuxième génération, printano-estivale, serait issue de leurs pontes qui s'étalent entre la fin avril et mai. Elle débiterait par des larves observées à partir de la mi-mai, puis des adultes du début du mois de juin et de juillet. La troisième génération serait estivo-automnale. Les derniers adultes observables jusqu'en hiver ont passé la mauvaise saison à l'état de diapause imaginale (fig. 35).

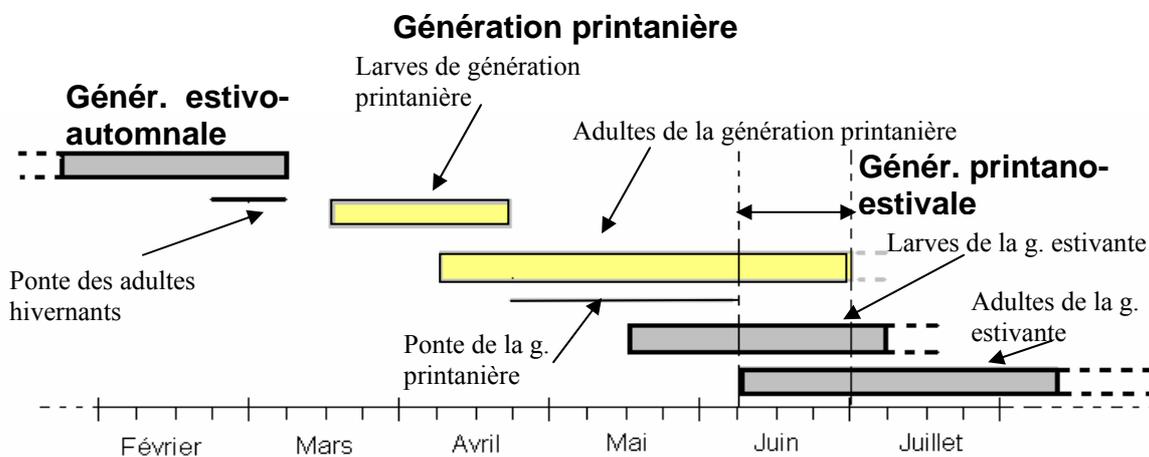


Figure 35. Cycle interprétatif de *L. migratoria* dans les périmètres irrigués à Adrar et Ouargla. La double flèche indique la période probable de coexistence des 2 générations d'adultes

3- Variations mensuelles du sexe-ratio des larves et adultes

Nos observations réalisées à Adrar de janvier à juin et à Ouargla de août à décembre permettent d'appréhender les variations mensuelles de sexe-ratios des populations de *L. migratoria*. Dans un premier temps, nous avons calculé pour chacune des trois générations les coefficients de corrélation entre les dates d'observation et les sexe-ratios des larves. La seule corrélation significative concerne la génération printanière ( $p < 1\%$ ), les premières larves étant presque exclusivement des mâles, les dernières étant des femelles. En revanche, on note une stabilité temporelle des sexe-ratios, très voisine de l'équilibre mâle-femelle dans les générations suivantes : 0,51 pour la génération printano-estivale et 0,49 pour la génération estivo-automnale (fig. 36).

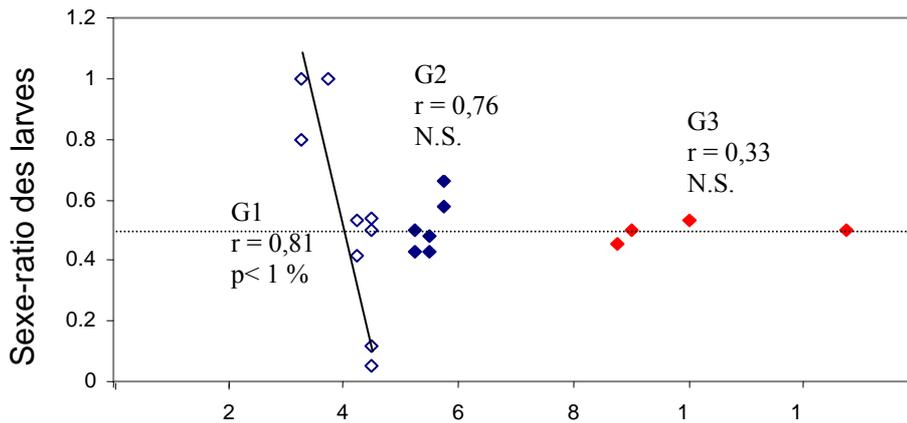


Figure 36. Variations mensuelles des sexe-ratios des larves dans les régions d'Adrar et Ouargla (22 stations). G1 : génération printanière ; G2 : g. printano-estivale ; G3 : g. estivo-automnale.

En ce qui concerne les adultes, les individus observés entre les mois d'août à mars feraient partie de la génération estivo-automnale, ceux du mois d'avril et première quinzaine de mai de la génération printanière et ceux de la deuxième quinzaine de mai jusqu'en début de juin d'un mélange des générations printanière et printano-estivale. On observe de très fortes variations de sexe-ratio dans la génération printanière, certainement en relation avec la situation rencontrée chez les larves. Au cours de la deuxième quinzaine de mai, on retrouve ces variations de sexe-ratio qui pourraient être attribuées à la coexistence des 2 générations. Lors de la génération estivo-automnale, les variations sont de plus faible amplitude et avoisinent l'équilibre (fig. 37).

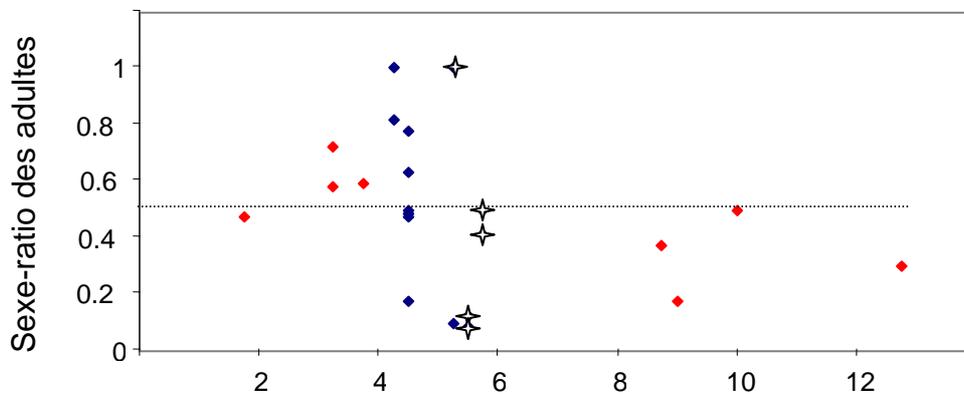


Figure 37. Variations mensuelles des sexe-ratios des adultes dans les régions d'Adrar et Ouargla (22 stations). Symboles : rouge : populations de la génération estivo-automnale ; bleu foncé : populations de la génération printanière ; étoiles : mélange des générations printanière et printano-estivale.

4- Détermination de la sous-espèce de *L. migratoria*

L'ensemble des mesures et rapports morphométriques prises sur des mâles solitaires de *L. m. migratoria*, de *L. m. gallica*, de *L. m. cinerascens* de France et d'Espagne et enfin d'individus du Sud et du Nord Algérien ont été traitées par une A.C.P. avec PAST. Le graphe de la projection sur le plan défini par les axes F1 et F2 (fig. 38) montre une opposition entre la sous-espèce *migratoria* et le reste qui englobe les sous-espèces *gallica* et *cinerascens*.

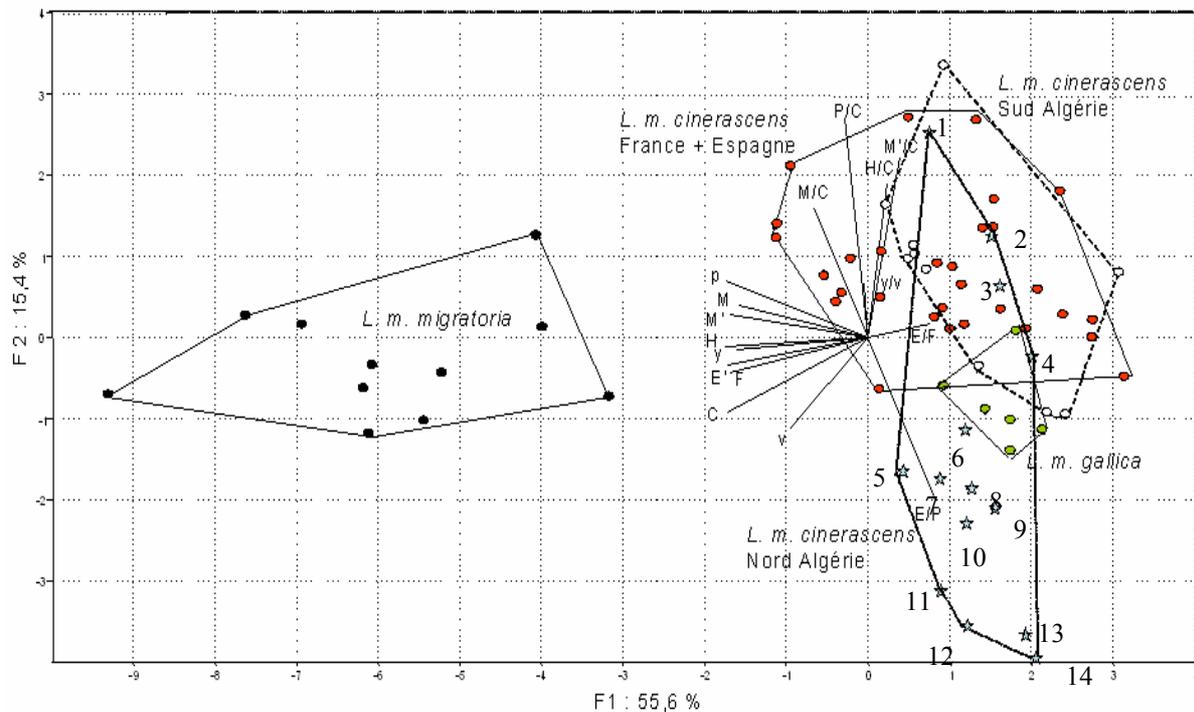


Figure 38. Projection des individus mâles de différentes sous-espèces et populations du Bassin méditerranéen sur le plan F1–F2.

Symboles. Lignes continues et cercle rouges : *L. m. cinerascens* de France et d'Espagne ; ligne continue et points verts : *L. m. gallica* ; tiretés et points blancs : populations sud algériennes ; pointillés et étoiles : populations nord algériennes ; 1 : Tizi-Amara ; 2 : Ain-Allouane (Tikjda) ; 3 : Djurdjura ; 4 : Tigounatine ; 5 et 14 : Birgha-balou (Bouira) ; 6, 9, 11, 12 et 13 : El Harrach ; 8 : Reghaïa ; 10 : Tamda.

En effet, la sous-espèce *migratoria* se distingue des 2 autres par des fortes valeurs des mesures de taille (P, M, M', F, E', C, v, y). Les populations du Sud algérien présentent une variabilité qui recouvre celle des populations françaises et espagnoles de la sous-espèce *cinerascens*. Les populations du Nord algérien se caractérisent par une variabilité dans le sens des vecteurs E/P et P/C. Celles qui ont de fortes valeurs de P/C sont dans la gamme de variation de la sous-espèce *cinerascens* de France et d'Espagne.

D'une manière plus détaillée, les individus originaires des zones les plus proches du littoral (de 5 à 14, fig. 38) ont de rapports E/P très élevés. En revanche, les individus provenant de zones plus centrales (de 1 à 4) ont des rapports E/P qui ne différencient pas de ceux des individus de la sous-espèce *cinerascens* de France et d'Espagne.

Nous avons effectué la même analyse avec des individus femelles des sous-espèces *migratoria*, *gallica* et *cinerascens* provenant de France, ainsi qu'avec des populations sud et nord algériennes. Les résultats de l'AC.P. sont reportés sur la figure 39.

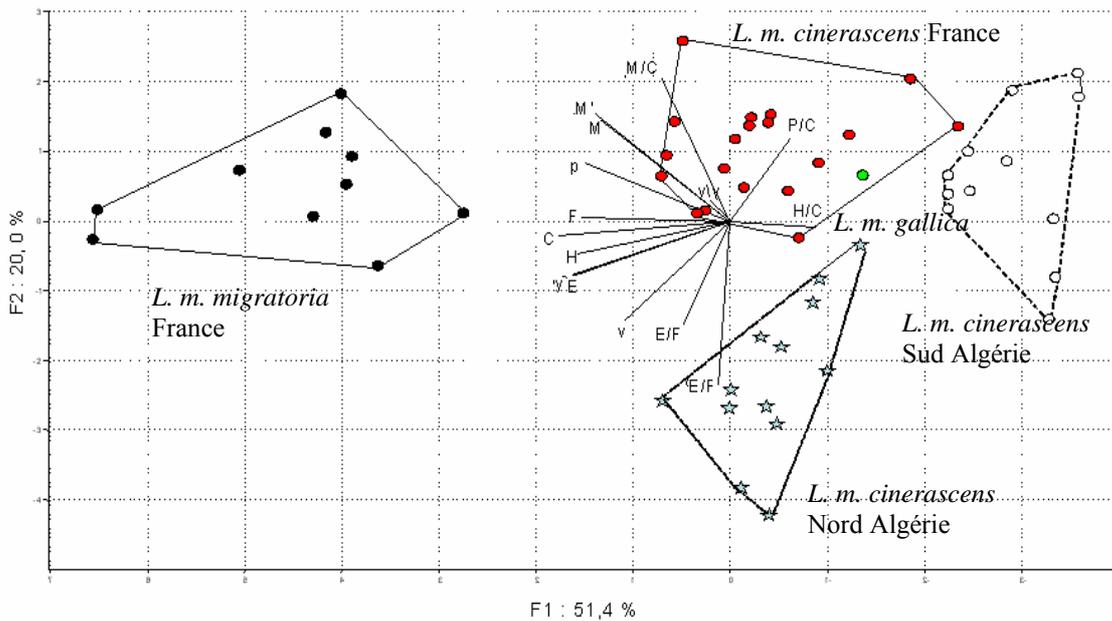


Figure 39. Projection des individus femelles de différentes sous-espèces et populations du Bassin méditerranéen sur le plan F1–F2.

Symboles. Lignes continues et cercle rouges : *L. m. cinerascens* de France et d'Espagne ; ligne continue et point vert : *L. m. gallica* ; tiretés et points blancs : populations sud algériennes ; pointillés et étoiles : populations nord algériennes. Tous les individus issus des populations nord algériennes proviennent des zones littorales.

Comme chez les mâles, les individus femelles de la sous-espèce *migratoria* s'opposent à ceux des autres sous-espèces par leur grande taille. Les populations nord et sud algériennes sont nettement distinctes entre elles et de la sous-espèce *cinerascens* de France. Globalement, ce sont les mêmes indices morphométriques que pour les mâles qui séparent les populations. Cependant, contrairement au cas de ces derniers, les échantillons disponibles dans la collection de l'INA ne contenaient pas d'individus issus de zones éloignées du littoral.

En conclusion, les populations algériennes observées entrent relativement bien dans l'étendue de variation morphométrique de la sous-espèce *cinerascens* représentée par des individus de France. Cependant, les populations littorales algériennes semblent avoir une certaine originalité par rapport à cette sous-espèce. Il manquerait l'étude de populations d'autres régions du Bassin méditerranéen pour établir s'il existe des populations de transition ou s'il y a une réelle discontinuité dans cette sous-espèce.

#### 5- Etude de la variation des états phasaires des populations de *L. m. cinerascens*

##### 5-1- Détermination de l'état phasaire

L'abaque morphométrique de Duranton *et al.* (1990) à partir des rapports E/F et F/C nous renseigne que les populations de *Locusta* des deux périodes considérées (ancienne et récente) sont seulement des solitaires types ou des *transiens*.

- Chez les mâles, l'état *transiens* est du type *congregans* avec un fait marqué pour les populations du Sud des années 1995, 1997 et 2002, (fig. 40). En 2003, la phase *transiens* des *L. migratoria* du sud est moins prononcée. Nous remarquons que cette phase régresse en 2004 ramenant les populations à un état de plus en plus isolé (fig. 40). Par contre, les populations du Nord sont beaucoup plus confinées à l'état solitaire avec une faible proportion de *transiens*.

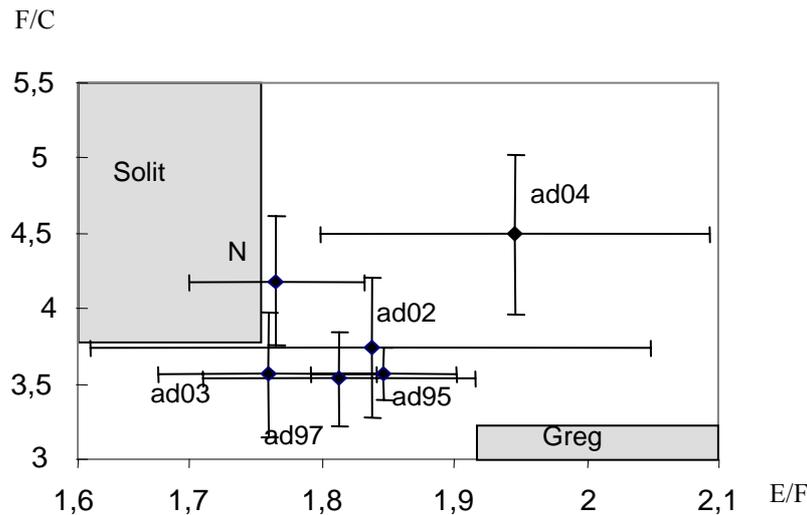


Figure 40. Transitions de phase chez les mâles (moyennes  $\pm$  écarts-types) (d'après Duranton *et al.* (1990) modifié).

Abréviations : Greg : *gregaria* ; Solit : *solitaria* ; ad : populations d'Adrar aux différentes années

Les analyses discriminantes sur les mâles ont montré des différences très significatives entre les populations du nord et par rapport à chacune des populations du sud ( $p < 1\%$ ). Si l'on suit l'évolution interannuelle des populations du sud, on constate un léger changement entre 1995 et 1997 ( $Fr_{1,73} = 2,61$ ,  $p = 0,07\%$ ). La variation est plus nette entre 1997 et 2002 ( $Fr_{1,68} = 3,34$ ,  $p = 0,04$ ), de même qu'entre 2002 et 2003 ( $Fr_{2,58} = 3,36$ ,  $p = 0,04$ ) et surtout entre 2003 et 2004 ( $Fr_{2,46} = 26,50$ ,  $p < 1\%$ ).

- Chez les femelles, les populations de 1995 sont des solitaires où quelques individus amorcent la phase *transiens*. Tandis qu'en 1997, ces populations évoluent beaucoup plus vers un état *congregans*. On constate par la suite un retour progressif vers le type solitaire en 2003, puis en 2002 et enfin en 2004. Ces dernières sont représentées dans leur majorité par des individus dont les rapports E/F sont inférieurs à 2 et des rapports F/C supérieurs à 4. Les populations naturelles du nord algérien sont constituées durant la période (1946-1956) d'un mélange de solitaires types et de *transiens*.

5-2- Corrélation entre les transitions de phases chez *L. migratoria* et l'évolution interannuelle des densités imaginale.

L'examen des archives de l'INPV de 1995 à 2004 nous a permis de constater des densités imaginale maximales entre 1995 et 1999 (fig. 41A). Parallèlement, c'est au cours de la même période que nous observons un maximum de superficies cultivées en céréales irriguées (fig. 41B). C'est pendant ces années que l'état phasaire de *L. migratoria* s'est le plus rapproché de l'état grégaire, sans toutefois l'atteindre, ce qui pouvait se vérifier par la coloration des individus. Entre 1999 et 2002, nous observons une chute drastique des densités. Curieusement, le retour vers la phase solitaire s'est faite avec retard, assez nettement à partir de 2003. On ne peut exclure que ce retard soit imputable à des surfaces céréalières encore importantes en 2002. Il est à noter que la trajectoire de la transition phasaire en 2004 s'est autant éloignée de la phase solitaire que de la phase grégaire, malgré une faible densité imaginale (fig. 40).

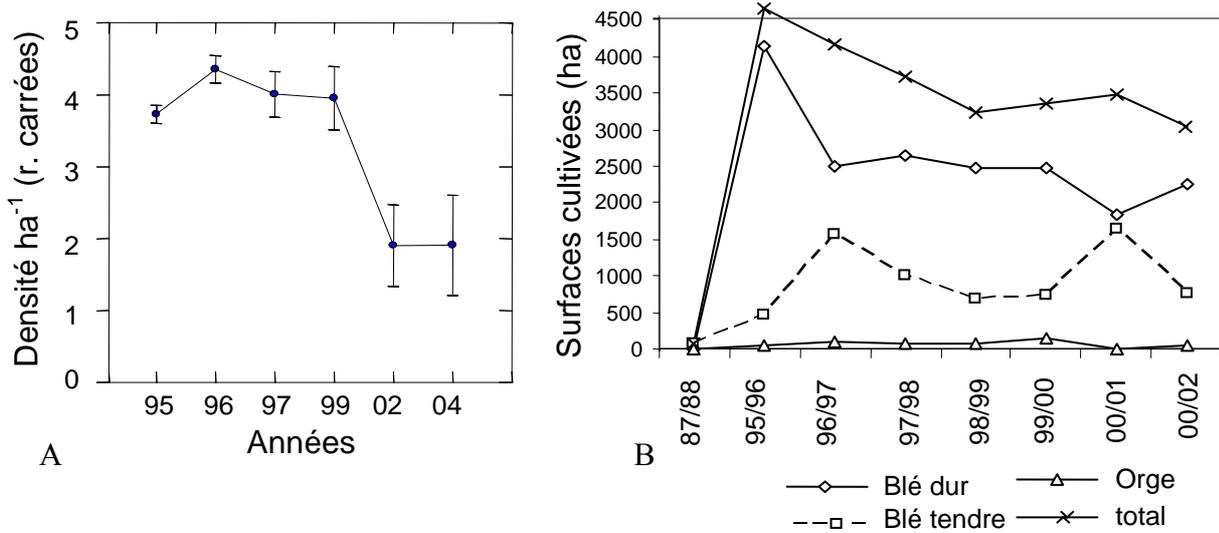


Figure 41. A : Variations de densités imaginaires (moyennes  $\pm$  S.E.M.) dans les céréales irriguées sous pivot. B : Variations des superficies cultivées en céréales irriguées sous pivot à Adrar.

### 6- Etude de l'alimentation des populations dans les périmètres irrigués

#### 6-1- Corrélation entre le recouvrement et le taux moyen de consommation des Poacées

Nous avons étudié la corrélation entre le recouvrement et le taux moyen de consommation de l'ensemble des individus par terrain, ceci pour l'ensemble des 9 terrains étudiés et pour chacun des stades L4, L5 et adulte. Comme il y a en moyenne entre 4 et 5 graminées présentes par terrain, le graphe obtenu porte sur 39 couples de valeurs (fig. 42A).

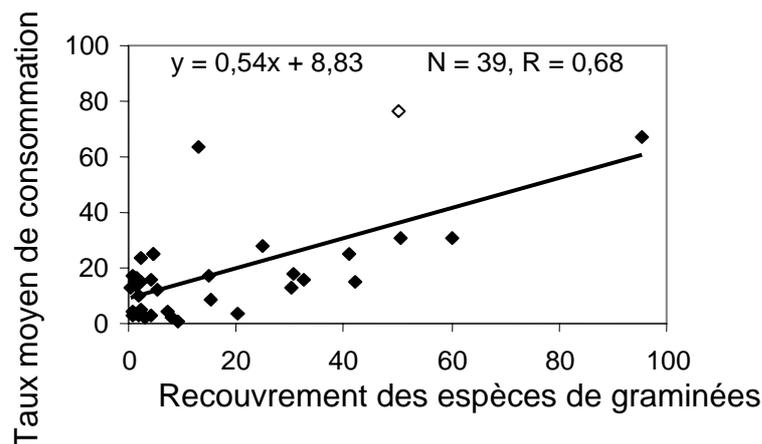


Figure 42A. Relations entre le recouvrement des Poacées et leur taux moyen de consommation par les L4. Losanges clairs : sorgho.

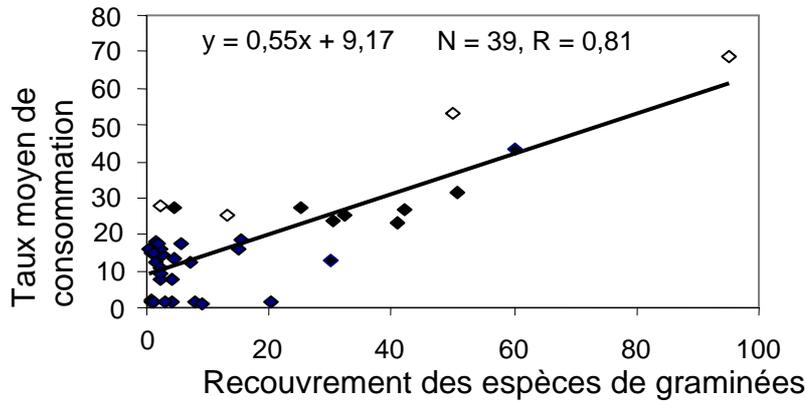


Figure 42B. Relations entre le recouvrement des Poacées et leur taux moyen de consommation par les L5. Losanges clairs : sorgho.

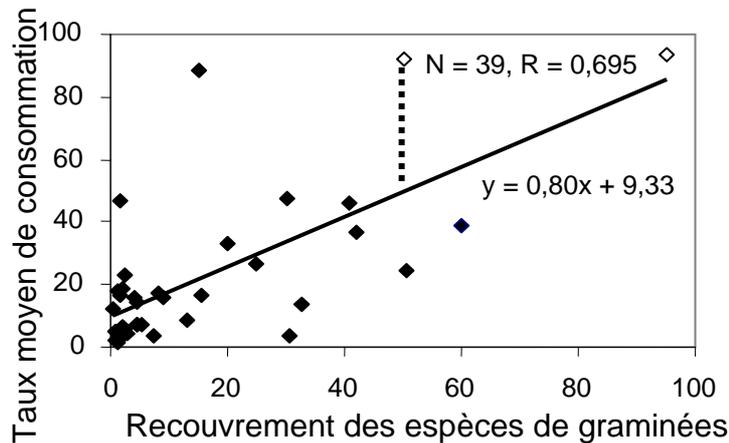


Figure 42C. Relations entre le recouvrement des Poacées et leur taux moyen de consommation par les adultes. Losanges clairs : sorgho. La ligne verticale en pointillés est la mesure du résidu entre la valeur consommée réelle et la valeur prédite par la droite de régression.

Quel que soit le stade du criquet migrateur, le taux de consommation des différentes espèces de graminées est proportionnel globalement à leur abondance sur le terrain ( $p < 0,001$ ).

#### 6-2- Facteurs affectant la corrélation entre le recouvrement et le taux de consommation des espèces (RCRP) de Poacées

Nous avons testé l'influence du sexe et celui du recouvrement végétal global sur les valeurs de RCRP individuels. Pour cela, nous avons calculé la RCRP de chaque individu de chaque sexe et de chaque stade (L4, L5 et adulte). Nous avons ensuite effectué une analyse de variance en prenant les RCRP comme variable dépendante et le sexe et 2 classes de recouvrement comme facteurs. La classe 1 correspond à un recouvrement global inférieur à 50 %, la classe 2 à un recouvrement supérieur à 50 %. Les résultats sont résumés dans le tableau 33.

Tableau 33. Résultats des ANOVA des RCRP (F-ratio et probabilités associées)

	RCRP des L4		RCRP des L5		RCRP des Adultes	
	Fr <sub>1,18</sub>	P	Fr <sub>1,18</sub>	P	Fr <sub>1,18</sub>	P
Sexe	0,085	0,774	0,078	0,783	0,759	0,395
classe de recouvrement	0,081	0,780	0,987	0,334	<b>11,250</b>	<b>0,004</b>
sexe*classe de recouvrement	0,008	0,929	0,002	0,967	0,571	0,460

Il ressort des 3 analyses de variance que la RCRP ne dépend pas du sexe. Concernant le recouvrement, on constate une absence d'influence sur la RCRP des larves L4 et L5. En revanche, les RCRP des adultes sont significativement supérieurs lorsque le recouvrement est supérieur à 50 % (fig. 43).

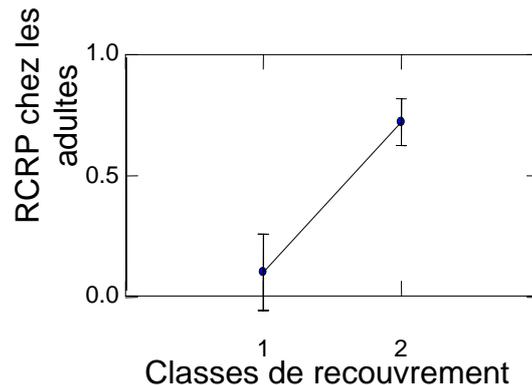


Figure 43. Variations de la RCRP chez les adultes selon le recouvrement

Classe 1 : < 50 % de recouvrement total des graminées ; classe 2 : > 50 % de recouvrement total des graminées.

### 6-3- Variabilité individuelle de l'alimentation sur les différents sites d'étude

Pour chacun des sites, nous avons comparé les taux de consommation individuelle en effectuant des A.C.P. Dans chacun des cas, nous avons synthétisé la variabilité de chaque stade et de chaque sexe en dessinant des enveloppes respectives sur la projection F1-F2. Pour 5 des 9 sites étudiés, on observe une séparation des enveloppes correspondant aux L4, L5 et adultes. Dans les 4 sites restants, nous observons un chevauchement des enveloppes des L4 et des adultes, tandis que celles des L5 sont toujours isolées. Dans la moitié des cas, les enveloppes des mâles sont séparées de celles des femelles, ceci indépendamment des stades. A titre d'illustration, nous avons choisi de présenter la situation de 2 sites de pivot de blé dur et 2 sites de sorgho, l'un en pleine végétation et l'autre fauché (fig. 44).

Dans le site 2 (blé dur sous pivot), les adultes se différencient des L4 et L5 à cause de leur forte consommation de *Lepturus cylindricus*. Les stades larvaires se distinguent par une consommation de *Triticum durum* plus élevée chez les L5 que chez les L4. Dans le site 6 (même culture), les L5 consomment *Triticum vulgare* et *Hordeum vulgare*, ce qui les isole sur le graphe des adultes et des L4. Ces derniers ont des régimes voisins, mais les adultes consomment davantage de *T. durum* que les L4. Dans le site 7 (sorgho sous pivot), les 3 stades sont clairement isolés : les adultes consomment préférentiellement *S. vulgare*, les L5 *T. durum* et les L4 *Cynodon dactylon*. Dans le site 8 (sorgho fauché), les 3 stades sont également séparés : les larves s'alimentent davantage de *S. vulgare* que les adultes. Les L5 consomment plus de *Bromus madritensis* que les L4 qui eux consomment plus de *Lolium multiflorum*. En conclusion, on constate que les mêmes espèces végétales ne sont pas systématiquement consommées de la même façon par les différents stades. Ainsi, le sorgho est préféré par les adultes dans le site 7 (végétation en croissance) mais par les larves dans le site 8 (sorgho fauché).

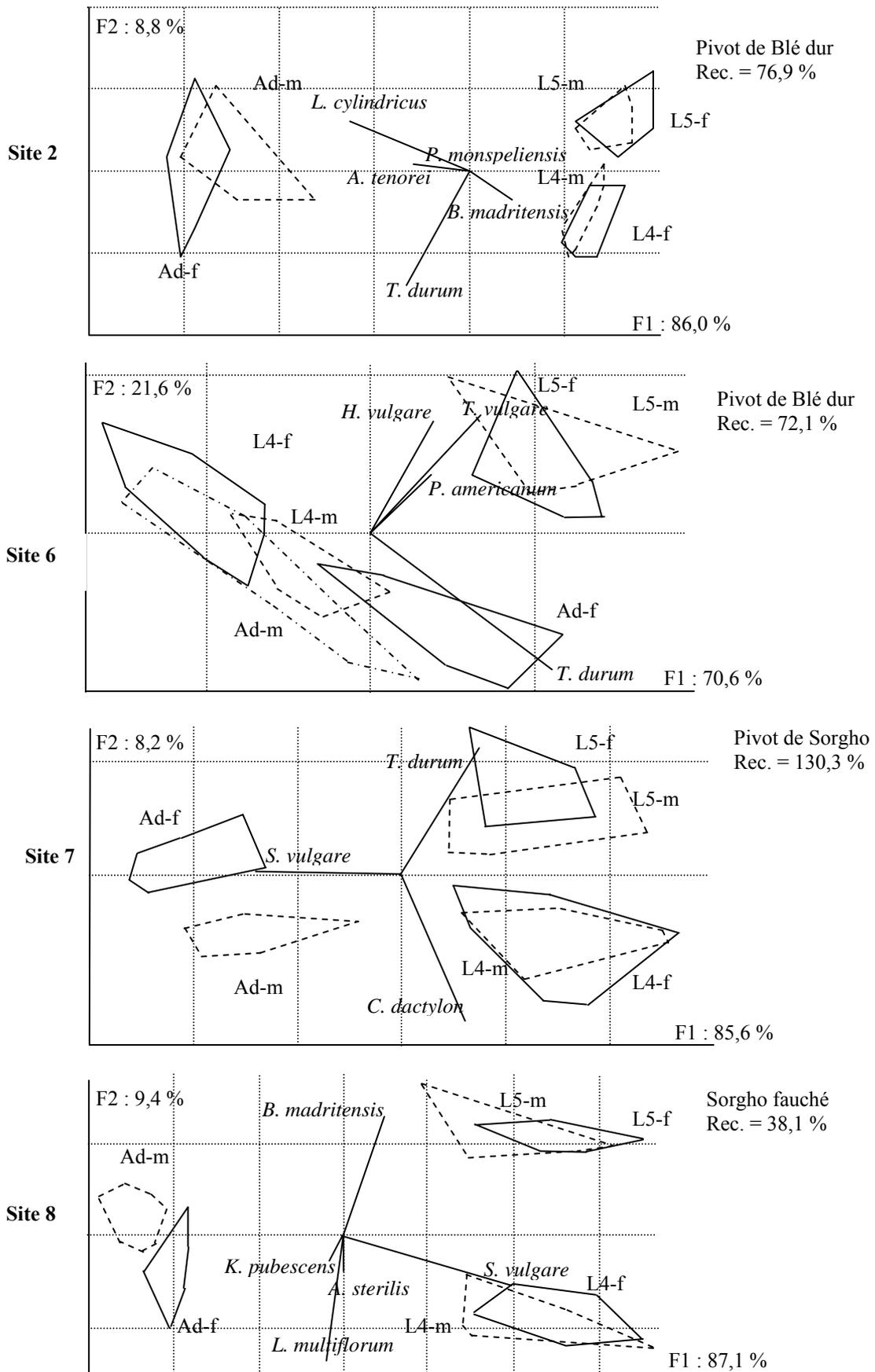


Figure 44. Projection des consommations individuelles sur les axes F1 et F2 des A.C.P.

## 6-4- Préférences et évitements des différentes espèces végétales

L'examen détaillé des graphes 42a, b et c correspondant aux RCRP révèle que certains points s'écartent de la droite de régression, en relation avec une préférence ou un évitement. Plusieurs espèces végétales sont régulièrement surconsommées, en particulier le Sorgho.

Pour établir les plantes préférentiellement consommées ou évitées par *L. migratoria*, nous avons calculé le résidu moyen des graminées consommées par rapport aux prédictions des droites de régression. Pour ce faire, nous avons calculé la valeur prédite de consommation de chaque espèce végétale par un stade donnée, à l'aide de l'équation de la droite de régression établie pour ce stade. Le résidu est simplement l'écart entre la valeur réelle moyenne de consommation et la valeur prédite compte tenu du recouvrement mesuré de la plante sur le terrain. La valeur réelle est la moyenne des valeurs de consommation de l'ensemble des individus pour un stade donné. Les résultats sont indiqués dans le tableau 34.

Tableau 34. Résidus des taux de consommation des Graminées par les L4, L5 et adulte

Espèces végétales	résidu L4	résidu L5	résidu adulte
<i>Sorghum vulgare</i>	25,06	12,63	13,28
<i>Lolium multiflorum</i>	6,57	4,87	22,90
<i>Bromus madritensis</i>	6,26	8,21	-2,57
<i>Cynodon dactylon</i>	8,92	2,10	-0,05
<i>Pennisetum typhoides</i>	5,80	4,48	-2,68
<i>Hordeum vulgare</i>	-4,35	-1,01	-6,99
<i>Koeleria pubescens</i>	-9,06	-2,20	-1,70
<i>Pennisetum americanum</i>	-6,43	-0,90	-7,69
<i>Polypogon monspeliensis</i>	-6,74	-8,02	-4,66
<i>Aira tenorei</i>	-10,56	-11,50	1,16
<i>Avena sativa</i>	-8,41	-4,16	-9,31
<i>Lepturus cylindricus</i>	-10,60	-12,97	1,65
<i>Phragmites communis</i>	-6,11	-8,25	-8,79
<i>Triticum durum</i>	-9,61	-3,85	-11,29

On observe une certaine variabilité des résidus selon le stade de l'insecte, mais malgré tout, il est clair que certaines espèces sont régulièrement sur- ou sous-consommées. La figure 45 classe les espèces végétales selon leur appétence.

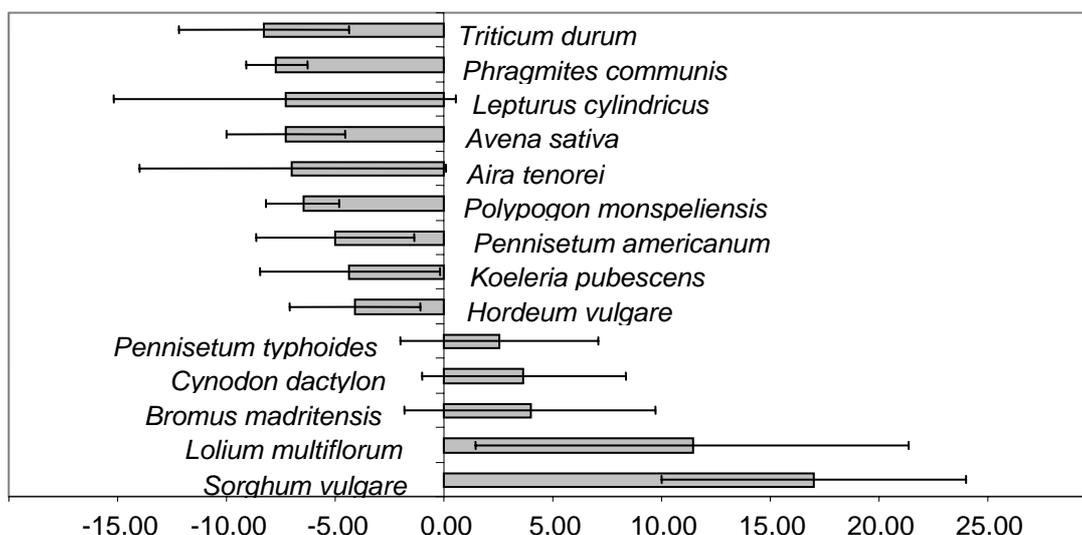


Figure 45. Appétences des graminées déterminées par les résidus de régression moyens (moyennes ± écart-types).

Les 2 céréales cultivées sont situées aux extrêmes du classement des résidus de régression. *Sorghum vulgare* est la graminée plus surconsommée tandis que *Triticum durum* est la plus évitée. Les variations des valeurs de résidus selon les stades proviennent de l'état phénologique de la plante et éventuellement des changements dans les besoins alimentaires de *L. migratoria*.

#### 6-5- Consommation du blé

On s'est posé la question de savoir si la consommation du blé dépendait de l'abondance du recouvrement en blé lui-même et de la disponibilité des autres ressources trophiques, c'est-à-dire de la plus ou moins grande abondance des autres espèces de graminées. Nous avons pour cela considéré le nombre total d'espèces de Poacées disponibles.

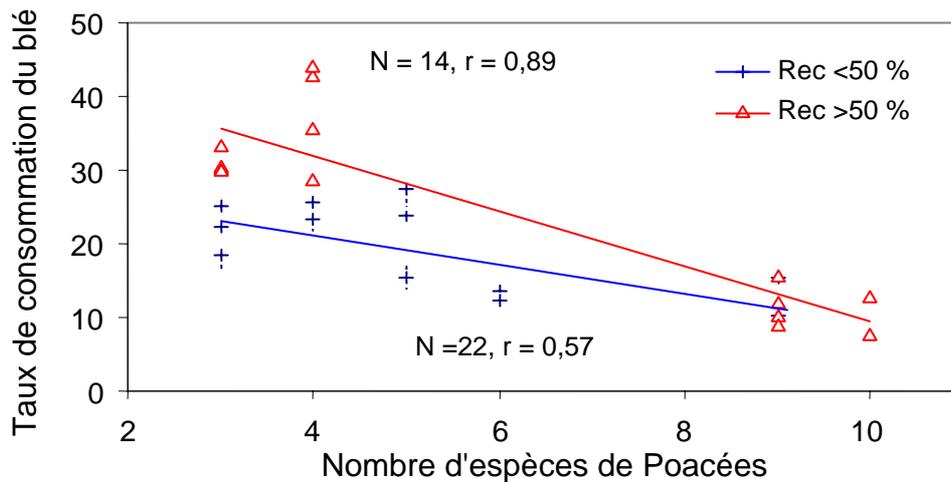


Figure 46. Taux de consommation du blé chez les larves de stades 4 et 5.

Chez les larves L4 et L5, la consommation du blé dépend clairement des 2 facteurs. Cette consommation diminue avec le nombre d'espèces de graminées ( $p < 0,01$ ) mais augmente avec le recouvrement du blé lui-même (fig. 46).

Plus le recouvrement en blé est fort, plus l'insecte va consommer cette espèce. Cependant, la présence d'autres espèces de Poacées tend à faire diminuer la consommation du blé, ce qui renforce nos conclusions précédentes sur une certaine aversion de *L. migratoria* pour le blé.

### 7- Croissance

#### 7-1- Durée des stades larvaires

Nous avons seulement considéré les individus qui ont abouti à leur mue larvaire ou imaginaire. Au stade L4, l'analyse globale montre que la nourriture a un effet significatif sur la durée ( $N=50$ ,  $p < 0,01$ ) alors que le sexe n'en a pas ( $p > 0,5$ ). Le test post-hoc de Tukey avec seulement la ressource nutritive comme facteur montre une durée significativement plus longue pour le blé (fig. 47) que pour le sorgho ( $p = 0,057$ ) et que pour le mélange ( $p < 0,001$ ).

Au stade L5, l'absence de mues imaginaires des femelles élevées sur le blé nous a contraint à effectuer des analyses par facteurs séparés. Les femelles ont une durée du stade 5 de  $10,08 \pm 0,47$  jours, significativement supérieure ( $N = 29$ ,  $Fr_{1,27} = 4,59$ ,  $p < 0,05$ ) à celle des mâles dont la durée est de  $9,00 \pm 0,24$  jours. Le facteur nutritif seul n'a pas d'effet sur la durée du stade 5.

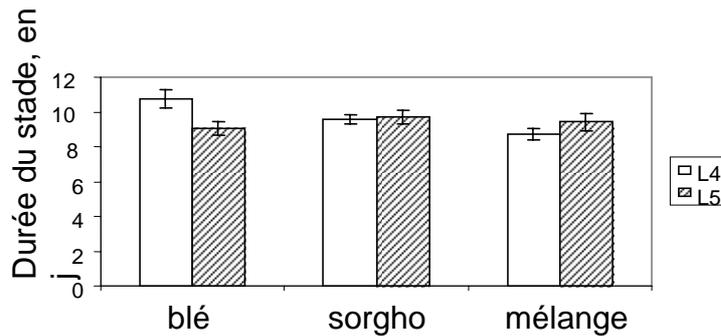


Figure 47. Durée des stades larvaires 4 et 5 selon le facteur nutritif.

Dans la mesure où il y a une variation dans la durée des stades, nous avons divisé chaque stade en deux parties de manière à appréhender la croissance initiale pendant les 6 premiers jours du stade et la croissance terminale pendant les 4 derniers jours. Si la durée du stade dépasse 10 jours, certaines valeurs ne sont pas prises en compte. Par contre, si la durée est inférieure à 10 jours, certaines valeurs font à la fois partie de la fin de la phase initiale et du début de la phase terminale.

Nous avons vérifié qu'il existe bien une corrélation inverse entre la durée du stade et la croissance initiale durant les 6 premiers jours, du moins chez les stades 4 (N = 50, r = -0,45, p < 0,001, fig. 48). Cette corrélation n'est pas significative chez les individus de stade 5 (N = 29, p > 0,4).

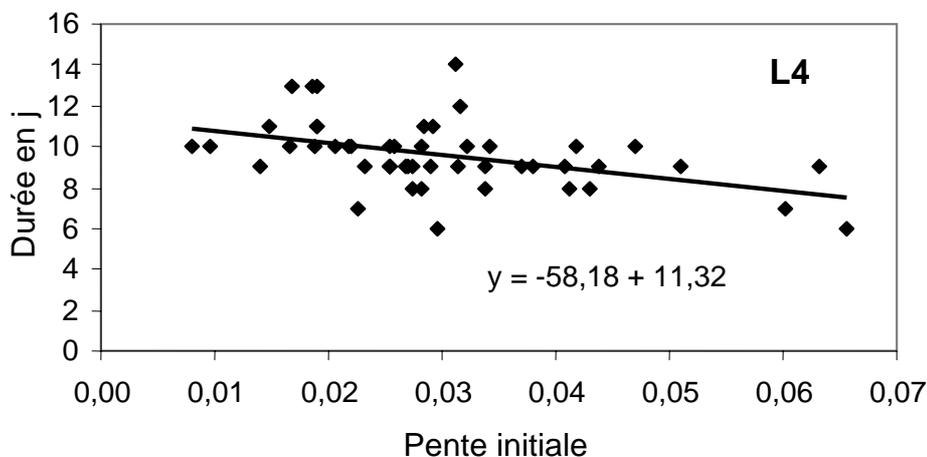


Figure 48. Droite de régression entre la durée du stade 4 et la vitesse de croissance initiale.

7-2- Croissance des larves de stade 4 et 5 sur les différents substrats

7-2-1- Effet sur les 6 premiers jours de chaque stade

Nous avons pris en compte tous les individus qui ne sont pas morts durant les 6 premiers jours. Deux facteurs ont été considérés : le sexe et la nourriture. La croissance de chaque individu a été appréhendée par la pente de la droite de régression entre le poids et le jour.

L'analyse globale sur les L4 (57 individus) montre qu'il y a un effet nourriture hautement significatif (p < 0,001) alors que le sexe est à la limite de la significativité (p = 0,058). L'interaction sexe-nourriture n'est pas significative (p > 0,4). Nous avons donc groupé les mâles et les femelles pour effectuer un test post-hoc de Tukey en considérant la nourriture

comme facteur (fig. 49). La croissance sur le blé est significativement inférieure à celle observée sur le sorgho ( $p = 0,02$ ) et sur le mélange ( $p = 0,03$ ).

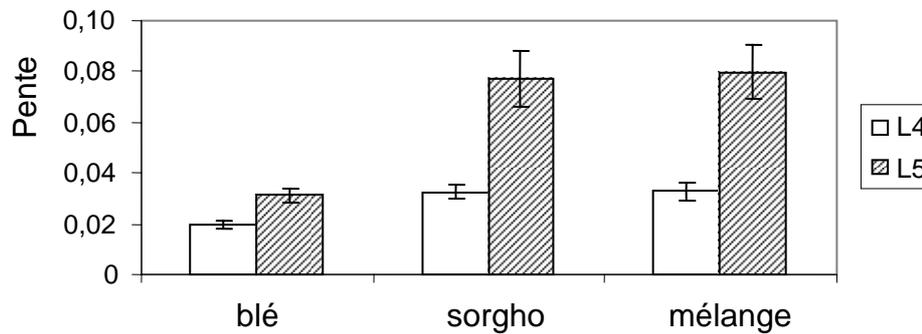


Figure 49. Croissance des larves L4 et L5 en début de stade.

L'analyse globale pour les L5 ( $N = 49$ ) montre que comme dans le cas précédent, il y a un effet hautement significatif de la nourriture ( $p < 0,01$ ) et un effet sexe à la limite de la significativité (fig. 49).

#### 7-2-2- Effet sur les 4 derniers jours de chaque stade

Nous avons éliminé les individus morts avant leur mue larvaire ou imaginale. Une analyse de variance globale à 2 facteurs montre que pour les L4, la nourriture a un effet sur la vitesse de croissance ( $N = 50$ ,  $p < 1\%$ ), alors que le sexe n'en a pas ( $p > 0,5$ ). Le test de Tukey (fig. 50) avec la nourriture comme facteur indique que la croissance sur le sorgho est significativement supérieure à celle observée sur le blé ( $p = 0,017$ ) et sur le mélange ( $p = 0,036$ ).

Concernant les larves de stade 5, la mortalité des femelles sur le blé ne nous a pas permis d'effectuer une analyse de variance à 2 facteurs. Considérés séparément, la nourriture n'a pas d'effet sur la croissance, alors que la croissance des femelles est significativement supérieure à celle des mâles ( $N = 30$ ,  $Fr_{1,28} = 6,11$ ,  $p = 0,02$ ).

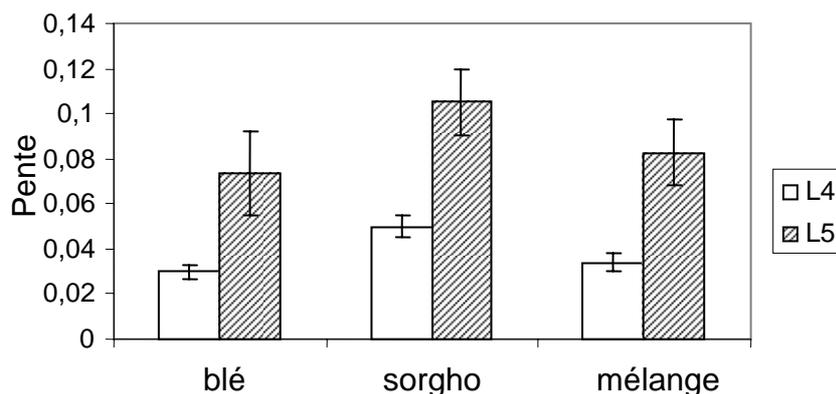


Figure 50. Croissance des larves L4 et L5 en fin de stade.

#### 7-3- Pourcentage de survie des stades larvaires

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis utilisé nous contraint à analyser séparément chaque facteur. Au cours du stade 4, la survie des mâles est significativement supérieure à celle des femelles ( $N = 57$ ,  $p = 0,003$ ). En effet, aucune mortalité n'est constatée chez les

mâles (N = 30), tandis que les femelles survivent à  $74 \% \pm 0,09$  (N = 27). Au cours du stade 5, il n'y a pas de différence de survie selon le sexe (N = 52,  $p > 0,5$ ) et se situe à  $56,7 \% \pm 9$  chez les mâles et à  $59 \% \pm 10$  chez les femelles. On peut remarquer cependant qu'aucune femelle sur les 5 survivantes élevées sur le blé n'a atteint le stade imaginal.

Le substrat alimentaire influence significativement (N = 57,  $p = 0,001$ ) sur la survie des larves de stade 4, elle est de 100 % sur le sorgho ou le mélange mais seulement de  $65 \% \pm 11$  sur le blé. La survie des stades 5 diffère significativement (N = 52,  $p = 0,013$ ) selon les substrats nutritifs (fig. 51).

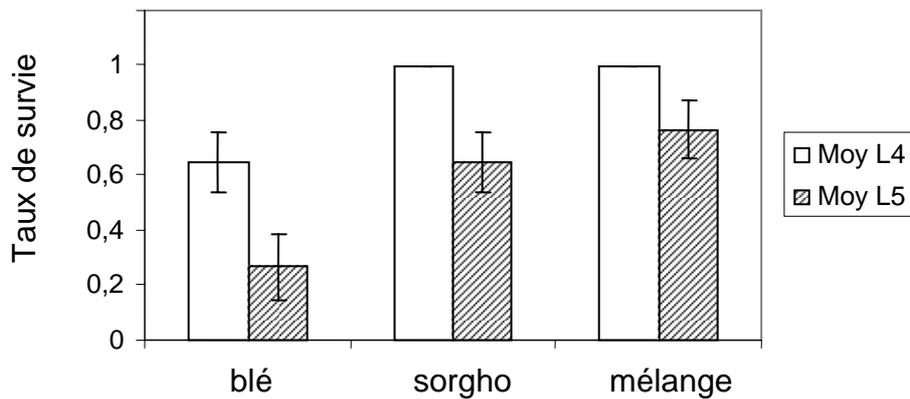


Figure 51. Taux de survie des stades 4 et 5 selon le substrat alimentaire utilisé.

#### 8- Influence des céréales cultivées sur l'asymétrie du développement

La variabilité des projections des 12 PR des 53 paires d'élytres après superposition est illustrée dans la figure 52. Elle met en évidence la forte stabilité des PR 4, 5, 6 et 7 et la grande dispersion du PR 10. Les contributions de chaque PR à la variabilité totale sont reportées dans le tableau 35.

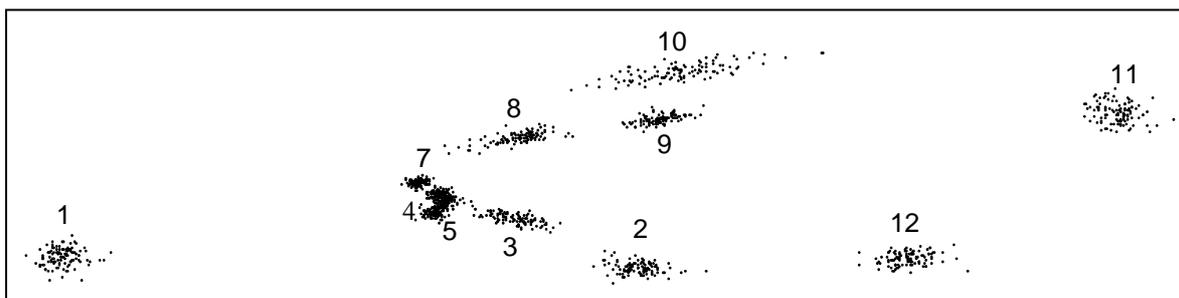


Figure 52. Alignement des 12 PR après superposition des 53 paires d'élytres grâce à la méthode APG (Analyses Procustes Généralisées).

Le PR10 contribue à presque 20 % de la variabilité totale, c'est-à-dire presque 2 fois autant que les autres PR les plus variables (PR2, PR8 et PR12) dont la contribution avoisine 10 %. Les PR 11, 3, 1 et 9 ont une contribution comprise entre 7 et 9 %. Enfin, on peut noter la grande stabilité des PR 4, 5, 6 et 7 qui font partie du bord distal de l'aire médiane (fig. 53).

Tableau 35. Pourcentage de variation de chaque PR par rapport à la variabilité totale.

Les effets de la culture et du sexe correspondent à des probabilités d'après des ANOVA sans interaction entre facteurs (Modèle GML avec effet additif des facteurs).

PR	Contribution de chaque PR, en %	P : Effet de la culture	P : Effet du sexe
1	7,932	0,31	0,8
2	11,259	<u>0,06</u>	<u>0,07</u>
3	8,5864	0,56	0,23
4	3,749	0,17	0,44
5	3,6624	0,97	0,27
6	3,6621	0,31	0,89
7	3,5333	0,09	0,89
8	10,767	0,09	0,91
9	7,1889	0,12	0,48
10	<b>19,733</b>	<b>0,014</b>	0,17
11	9,6439	0,1	0,46
12	10,283	0,74	0,6

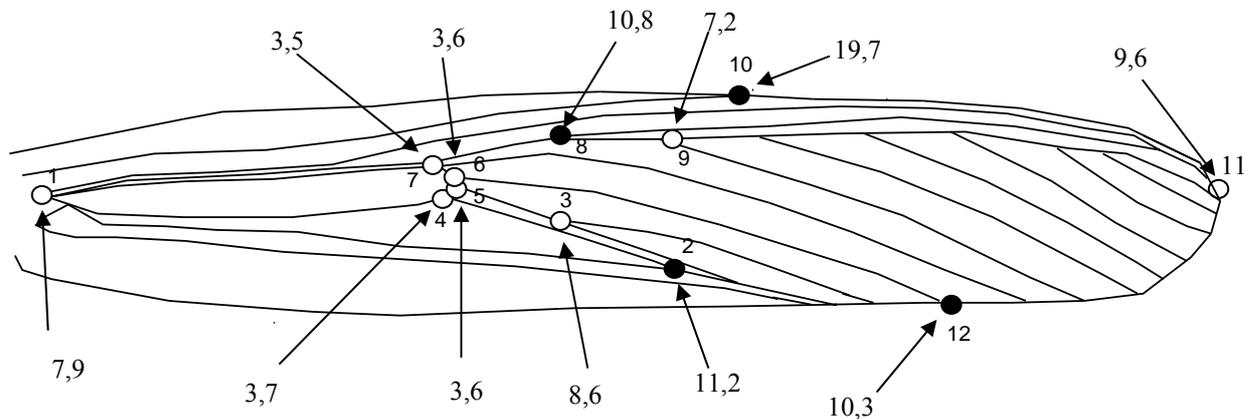


Figure 53. Pourcentages de variabilité relative des PR entre les élytres droit et gauche de l'ensemble des individus. Les cercles noirs correspondent aux PR les plus variables, les clairs à des PR plus stables.

Nous avons calculé les angles des vecteurs pour chacun des PR et des individus. Les histogrammes de distribution montrent que les valeurs sont très resserrées autour du mode qui est centré sur la valeur 0. Ceci démontre qu'aucun PR ne présente un angle de déformation privilégié de l'élytre droit par rapport au gauche, et donc que l'asymétrie observée est entièrement attribuable à l'asymétrie fluctuante.

L'effet de la culture et du sexe sur la variabilité des différents PR, mesurée par les distances euclidiennes de chaque PR des élytres droit et gauche, a été testé grâce à des analyses de variance à 2 facteurs sans interaction. Le PR10 est celui qui subit l'effet le plus significatif de la culture ( $p = 0,014$ ) sans qu'il n'y ait de différence selon le sexe. Le PR2 en revanche, présente une variation significative de manière marginale ( $p = 0,06$  et  $p = 0,07$ ) par rapport à la culture et au sexe respectivement. Il est à remarquer enfin une tendance de la variation des PR 7 et 8 à dépendre de la culture ( $p = 0,09$ ), qui pourrait éventuellement être confirmée sous réserve d'un effectif plus important.

D'un point de vue global, les projections des élytres sur les 2 premiers axes de flexion relative (fig. 54) permettent de calculer les distances euclidiennes dans un espace à 2 dimensions, ce

qui rend compte de la dissymétrie. Nous avons essayé d'expliquer les variations de ces distances par une ANOVA à 2 facteurs (sexe et culture) sans interaction. Les résultats sont indiqués dans le tableau 36.

Les déformations des PR des élytres par rapport à l'individu moyen (consensus) des différents secteurs du graphe sont indiquées dans l'annexe 3.

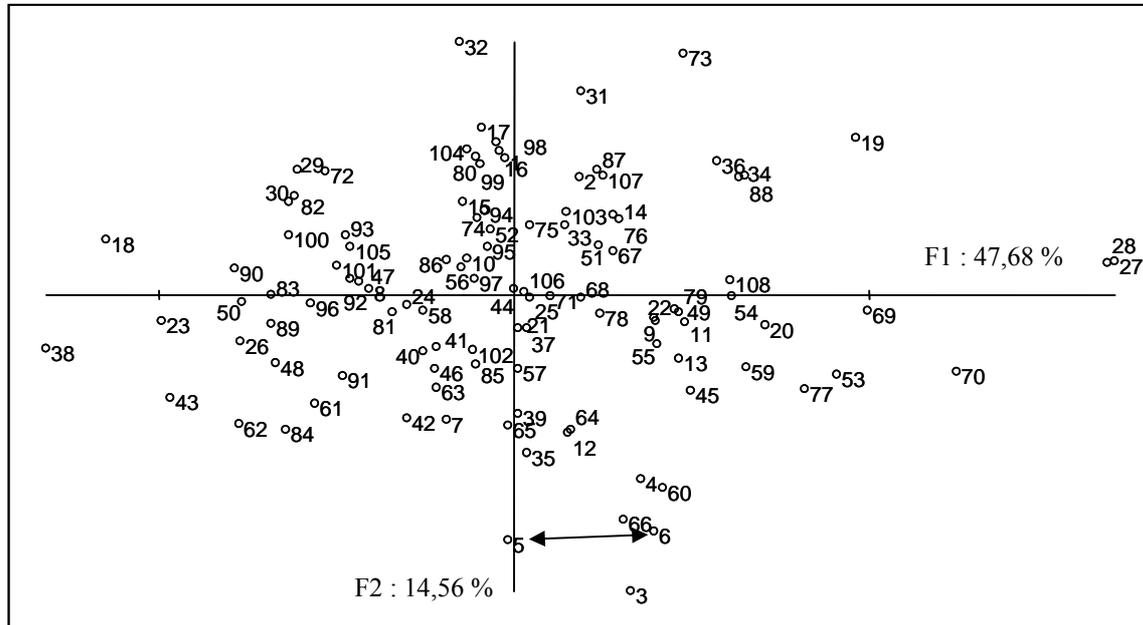


Figure 54. Projections des 53 paires d'élytres sur les 2 premiers axes de flexion relative. La mesure d'asymétrie est estimée par la distance euclidienne entre les projections de l'élytre droit et gauche de chaque individu. Par exemple, les points 5 et 6 correspondent aux élytres gauche et droit de la femelle 12. Les pourcentages de variance sur chacun des axes sont indiqués sur la figure.

Tableau 36. ANOVA des distances euclidiennes des élytres en fonction du sexe et de la culture.

Facteurs	Somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Sexe	0.0008	1	0.0008	1.2229	0.2742
Culture	0.0049	2	0.0025	3.7053	<b>0.0317</b>
Erreur	0.0326	49	0.0007		

Les distances moyennes obtenues pour chaque catégorie sont illustrées dans la figure 55.

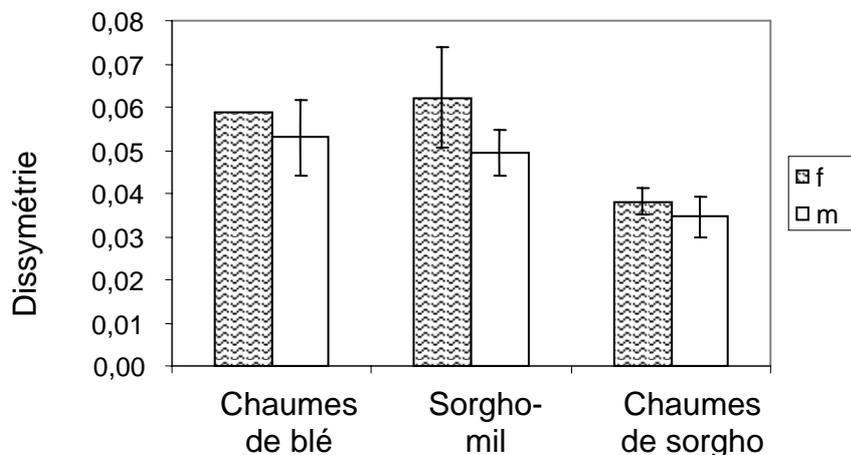


Figure 55. Distances euclidiennes (moyennes ± écarts types) entre les projections des paires d'élytres (droit et gauche) sur les 2 premiers axes de flexion relative.

Les *Locusta* développés sur le sorgho ont une dissymétrie significativement inférieure à celle observée sur les chaumes de blé et les cultures de sorgho-mil. Bien que l'effet du sexe ne soit pas significatif, on peut remarquer que quelle que soit la culture, la dissymétrie des femelles est supérieure à celle des mâles.

Nous avons enfin comparé les tailles centroïdes des élytres (moyenne des droit et gauche) de 54 individus en fonction du sexe et de la culture. Les résultats sont reportés dans le tableau 37.

Tableau 37. ANOVA des tailles centroïdes des élytres en fonction du sexe et de la culture

Facteurs	Somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Sexe	104477.47	1	104477.47	80.19	<b>0.0000</b>
Culture	604.96	2	302.48	0.23	0.7937
Erreur	65140.89	50	1302.82		

Il est clair que la grandeur des élytres ne dépend que du sexe, à l'avantage des femelles, mais que la culture n'a pas d'influence.

#### IV- Expérimentations sur l'action de souches de *B. subtilis*, de cry-toxines de *B. thuringiensis* et de divers peptides sur la biologie de *L. migratoria*

##### 1. Action de *B. subtilis* sur la mortalité, sur la croissance et la physiologie de la reproduction

###### 1-1- Effets des souches de *Bacillus subtilis* sur la TL50

Les spores et les cellules végétatives de *B. subtilis* ont été administrées par injection. La figure 56 montre clairement que les spores ont une action plus rapide que celle des cellules végétatives. Dans la majorité des cas, la durée de l'expérience limitée à 8 jours, pour l'effet des cellules végétatives, ne nous a pas permis de déterminer la TL50 (fig. 56). En revanche, les TL50 observés avec les souches II<sub>4</sub> et VIII<sub>3</sub> à la dose 1 sont compris entre 4,6 et 4,9 jours.

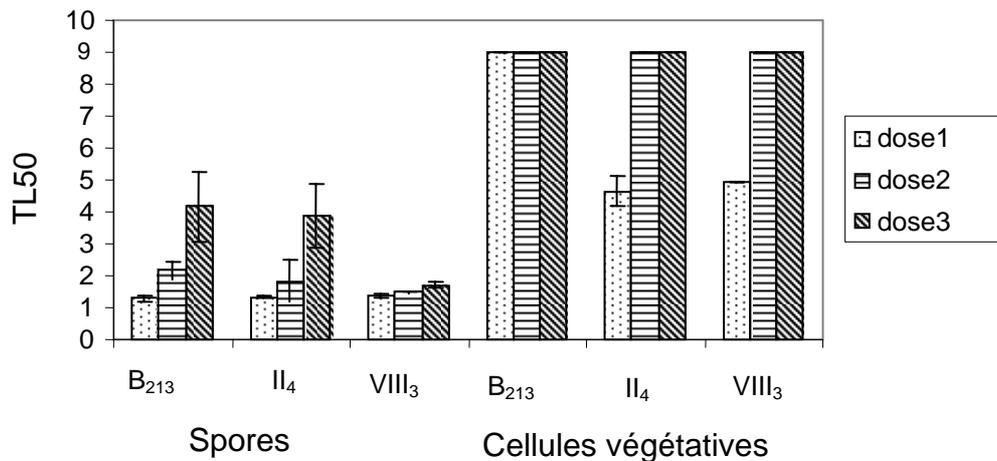


Figure 56. Variations des TL50 (moyennes ± écart-type) selon les souches utilisées et les doses par injection. Les TL50 supérieures à 8 jours ont été fixées arbitrairement à 9 jours pour la clarté de la présentation.

Pour ce qui est des spores, l'analyse de variance à 2 facteurs (souche et dose) montre que la souche qui agit le plus rapidement (fig. 57A) est la VIII<sub>3</sub> ( $Fr_{2,18} = 8,54$ ,  $p = 0,0025$ ). Par ailleurs, la dose qui agit le plus rapidement (fig. 57B) est la dose 1 ( $Fr_{2,18} = 28,62$ ,  $p < 0,0001$ ). Enfin, il y a un effet de l'interaction entre la souche et la dose car dans le cas de la souche VIII<sub>3</sub>, la dose 3 agit significativement plus rapidement que dans les autres souches ( $Fr_{4,18} = 5,12$ ,  $p = 0,062$ ) (fig. 56).

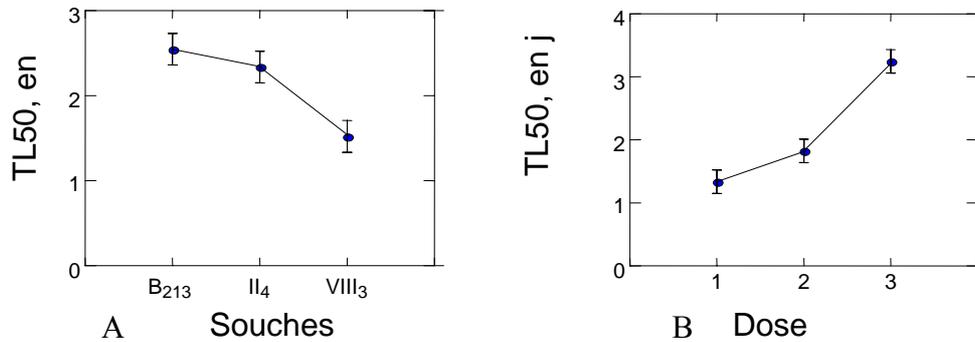


Figure 57 A et B. Variations des TL50 (moyenne ± S.E.M.) pour les effets stricts de la souche et de la dose, sans les interactions.

#### 1-2- Effet de l'inoculum et du mode de traitement

Nous avons comparé l'effet du mode d'inoculation et des différentes catégories de souches et de cellules à la dose 1, en mesurant les TL50 (fig. 58). Le TL50 le plus court est observé à la suite de l'injection des spores.

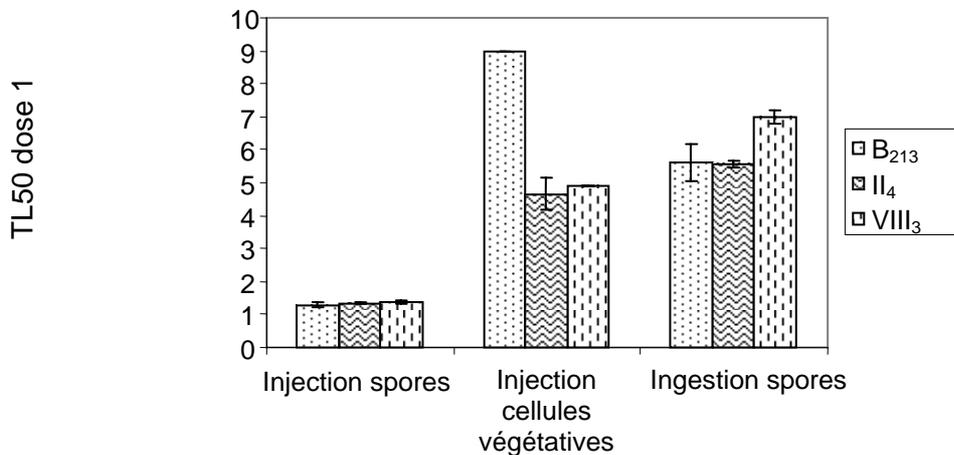


Figure 58. Variations des TL50 à la dose 1 selon l'inoculum et le mode de traitement

L'analyse de variance à 2 facteurs (souche et mode de traitement) montre que la souche qui agit le plus rapidement (fig. 59A) est la II<sub>4</sub> ( $Fr_{2,18} = 73,64$ ,  $p < 0,0001$ ). Par ailleurs, le mode par injection des spores a plus d'effet et induit des TL50 plus courts (fig. 59B) ( $Fr_{2,18} = 1044,72$ ,  $p < 0,0001$ ). Enfin, il y a un effet de l'interaction entre la souche et le mode car dans le cas des cellules végétatives, B<sub>213</sub> a une action plus lente que les 2 autres souches, alors que dans le cas des spores, que ce soit par injection ou ingestion, B<sub>213</sub> a une action rapide ( $Fr_{4,18} = 113,93$ ,  $p < 0,0001$ ).

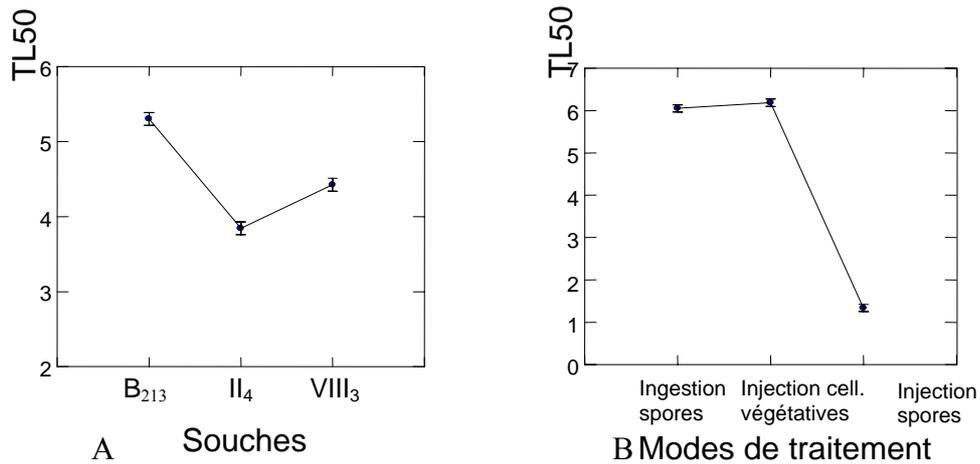


Figure 59 A et B. Variations des TL50 (moyenne ± S.E.M.) pour les effets stricts de la souche et du mode de traitement, sans les interactions.

### 1-3- Effet du traitement par injection des spores de *Bacillus subtilis* sur le développement ovarien

Nous avons comparé l'effet des différentes souches par la mesure des ovocytes de base chez les femelles juvéniles et reproductrices. Seules les souches II<sub>4</sub> et VIII<sub>3</sub> ont été testées en raison de leur plus grande efficacité.

#### 1-3-1- Influence sur les femelles juvéniles

Dans le cas des traitements avec les souches II<sub>4</sub> et VIII<sub>3</sub> (fig. 60), les ovocytes restent au stade juvénile (taille ≤ 1,4 mm), tandis que chez les témoins, les ovocytes sont en phase de vitellogenèse (taille ≥ à 1,7 mm). Comme le montre l'analyse de variance suivie du test de Tukey, les différences sont hautement significatives.

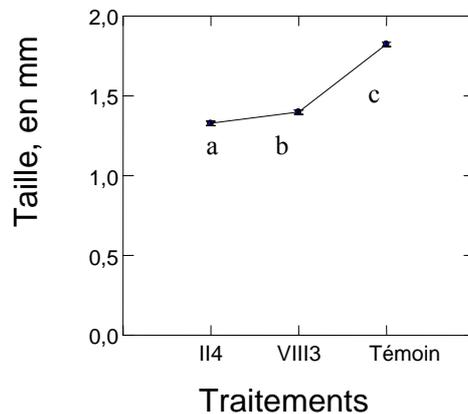


Figure 60. Variations de la taille de l'ovocyte de base (moyennes ± S.E.M) selon les traitements. Les lettres a, b et c correspondent à des valeurs significativement différentes au risque inférieur ou égal à 1 % (test de Tukey, N = 300).

Par ailleurs, nous avons appréhendé l'asynchronisme de fonctionnement des 2 ovaires. On s'est posé la question de savoir si cet asynchronisme était accentué ou non sous l'effet du traitement. Nous avons donc calculé par individu la valeur absolue de la différence entre les moyennes des tailles de 5 ovocytes basaux dans l'ovaire droit et l'ovaire gauche. L'analyse de variance ne révèle pas d'effet significatif ( $Fr_{2,27} = 2,32, p > 0,10$ ).

1-3-2- Influence sur les femelles reproductrices

Dans la mesure où les spores semblent avoir un effet inhibiteur de la croissance des ovocytes pendant le processus de vitellogenèse, il nous a paru intéressant de d'entrevoir l'influence des spores de *B. subtilis* sur la résorption ovocytaire.

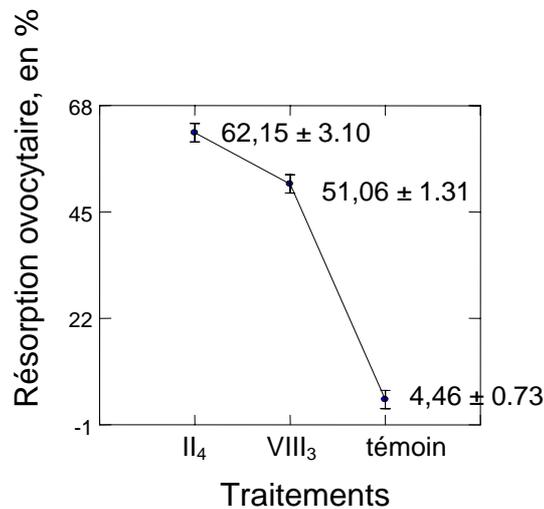


Figure 61. Pourcentages de résorption ovocytaire par ovaire et par individu (20 individus par traitement) : moyennes ± S.E.M.

L'ANOVA suivi du test de Tukey indique que les pourcentages rencontrés diffèrent significativement pour toutes les combinaisons, avec  $p < 0,001$ . La souche II<sub>4</sub> a un effet plus important sur la résorption que la souche VIII<sub>3</sub>, et *a fortiori* que le témoin (fig. 61).

1-4- Effet des souches II<sub>4</sub> et VIII<sub>3</sub> par injection sur la croissance pondérale des larves L5

Contrairement aux L5 témoins qui augmentent de poids pendant les 3 jours, les individus traités présentent une baisse pondérale (fig.62).

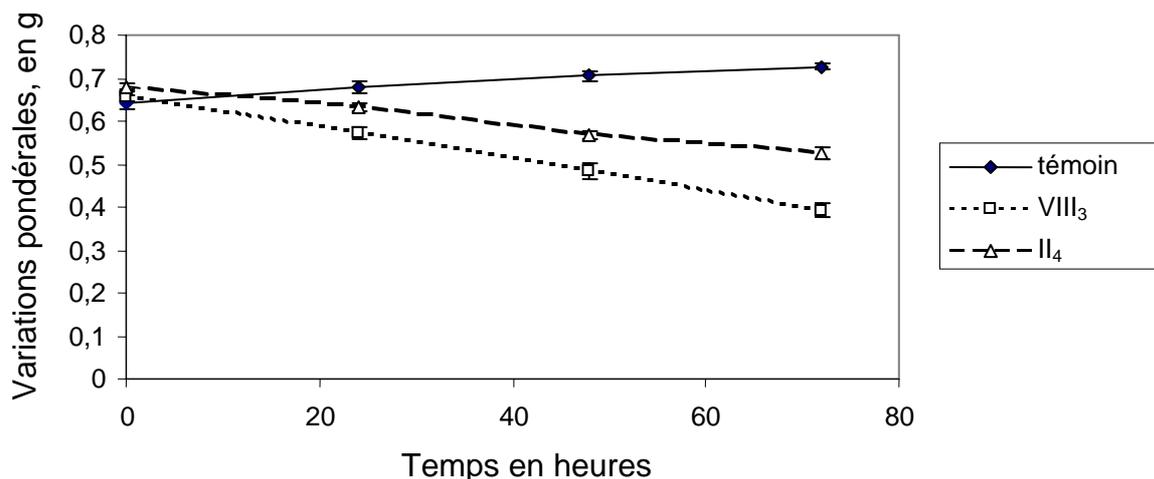


Figure 62. Variations pondérales des L5 traitées avec les souches VIII<sub>3</sub> et II<sub>4</sub>.

Nous avons comparé les pertes de poids dues aux 2 traitements (souches VIII<sub>3</sub> et II<sub>4</sub> par injection de spores) par rapport aux témoins pendant une période de 3 jours. Les résultats sont synthétisés dans la figure 63.

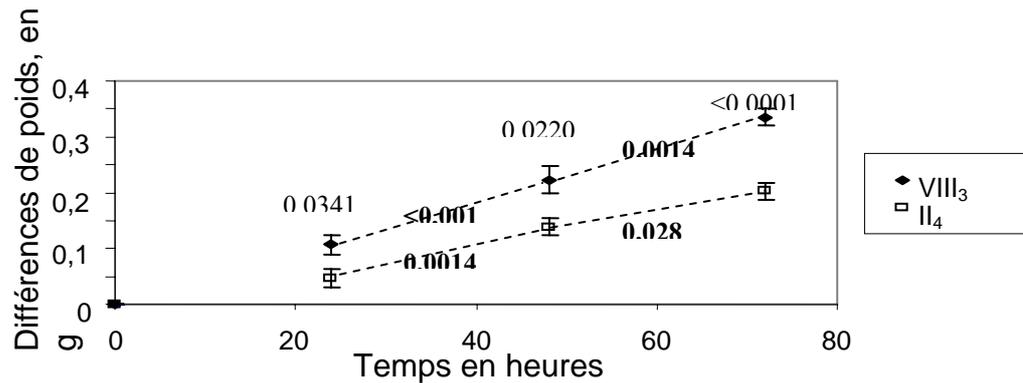


Figure 63. Effets de l'injection de spores de 2 souches de *Bacillus subtilis* sur la perte pondérale de L5 (moyennes  $\pm$  S.E.M). Pour chaque temps, les chiffres situés au dessus des barres d'erreur correspondent aux probabilités des F-ratios des ANOVA comparant les effets des 2 souches. Les chiffres en gras représentent les probabilités des ANOVA comparant les pertes de poids entre les temps successifs, pour chacune des souches.

Nous avons cherché par des ANOVA si les pertes de poids des larves traitées par une souche diffèrent significativement des pertes de poids des larves traitées par l'autre souche, jour par jour. Dans les 2 cas, ces pertes de poids sont calculées par rapport aux témoins. La significativité augmente puisqu'elle est inférieure seulement à 5 % à 24 h mais devient inférieure à 0,1 % à 72 h.

Nous avons également vérifié par des ANOVA, suivis de tests de Tukey, que les pertes de poids diffèrent significativement au cours des temps successifs, pour chacune des souches. Entre 24 et 48 h, il y a une différence significative au risque de 1 % pour la souche VIII<sub>3</sub> et de 1,4 % pour la souche II<sub>4</sub>. Entre 48 et 72 h, la significativité s'exprime avec des risques de 1,4 % et 2,8 % respectivement.

On peut donc dire que la souche VIII<sub>3</sub> a un effet plus net sur les pertes de poids que la souche II<sub>4</sub> et que cet effet se maintient jusqu'à la fin de l'expérience. Pour la souche II<sub>4</sub>, cet effet s'estompe quelque peu entre 48 et 72 h.

### 2- Effet des Cry-toxines de *Bacillus thuringiensis* sur les larves

L'injection des Cry1Aa, Cry1Ab et Cry1E à la dose de 6  $\mu$ g / 6  $\mu$ l n'entraîne aucune perte de poids significative par rapport aux individus témoins (ANOVA et test de Tukey, N = 40, p > 0,5). Nous avons ensuite procédé à des comparaisons de différents modes d'administration et de doses pour Cry1C. Parmi les conditions testées (intubation 15  $\mu$ g/10  $\mu$ l, ingestion 24  $\mu$ g/12  $\mu$ l, ingestion 0,5  $\mu$ g /6  $\mu$ l et injection 0,5  $\mu$ g /6  $\mu$ l), seule la condition ingestion 0,5  $\mu$ g /6  $\mu$ l conduit à une diminution significative du poids des larves par rapport aux témoins (ANOVA et test de Tukey, N = 77, p = 0,027).

### 3- Action de neuropeptides sur le développement ovarien de *L. migratoria*

L'injection de 0,5  $\mu$ g de *Led*-NPF-1 à des femelles vierges pendant 10 jours entraîne une croissance accélérée des ovocytes et la maturation des ovaires. L'injection de doses plus faibles (0,05  $\mu$ g) n'est pas suivie d'une différence significative de la longueur moyenne des ovocytes des individus traités par rapport aux témoins. Les individus testés montrent un développement avancé de l'avant-dernier ovocyte.

Pendant le premier cycle gonadotrophique, la taille du follicule augmente de moins de 1 mm en prévitellogenèse jusqu'à 6–7 mm lors de l'oviposition les jours 14–15. Les taux de croissance atteignent leur maximum les jours 11 et 12. Il n'y a jamais de chevauchement des cycles gonadotrophiques chez les individus témoins : les avant-derniers follicules n'entrent en vitellogenèse qu'après l'ovulation des ovocytes terminaux.

Dans une première expérience, débutant le premier jour après la mue imaginale, 10 femelles vierges sont traitées par une injection journalière avec 0,5 µg de *Led-NPF-1* pur pendant 10 jours. Le 11<sup>ème</sup> jour, tous les individus ont déjà déposé leurs œufs et ont commencé leur deuxième cycle gonadotrophique. La dissection des ovaires des individus témoins ce 11<sup>ème</sup> jour fait apparaître une croissance normale. La longueur moyenne des follicules terminaux est de 4,4 mm et les avant-derniers ovocytes sont en prévitellogenèse. Chez les individus testés, cependant, les avant-derniers follicules terminaux ont déjà atteint une longueur de 3,2 mm et sont en vitellogenèse. Une injection de dose journalière plus faible à 0,05 µg à une autre série d'individus pendant 10 jours n'entraîne pas de différence significative dans la longueur des follicules terminaux. Cependant, les individus testés montrent une vitellogenèse nettement anticipée au niveau des avant-derniers ovocytes (tab. 38). Dans la même expérience, *Led-NPF-2* s'est révélé être dix fois moins efficace que *Led-NPF-1*.

Tableau 38. Taille en mm et étape de développement correspondante des ovocytes de rang 1 (O1) et de rang 2 (O2) chez de jeunes femelles après 10 jours de traitement avec *Led-NPF-1*.

	Témoins	<i>Led-NPF-1</i> (10 x 0,5 µg)	<i>Led-NPF-1</i> (10 x 0,05 µg)
Longueur de l'ovocyte basal O1	4,4 mm	> 6 mm	5,3 mm
Stade ovarien.	Vitellogenèse	œufs stockés	vitellogenèse
Longueur de l'ovocyte O2	<1,8 mm	> 2 mm	> 2 mm
Stade ovarien	prévitellogenèse	vitellogenèse	vitellogenèse

Dans une deuxième étape, nous avons testé si les mêmes effets pouvaient être obtenus avec moins d'injections et des doses plus faibles. Des adultes ont été traités par injection à partir du 6<sup>ème</sup> jour avec une dose de 0,005, 0,05 et 0,5 µg respectivement, pendant 5 jours. Pour évaluer le rôle de *Led-NPF-1*, l'index ovarien a été calculé le 11<sup>ème</sup> jour. Sur les 3 concentrations testées, seule l'injection avec 0,5 µg a induit un effet significatif sur la croissance du follicule (fig. 64). Dans les mêmes conditions, *Led-NPF-2* n'a pas d'effet sur le développement ovarien *in vivo* (fig. 64).

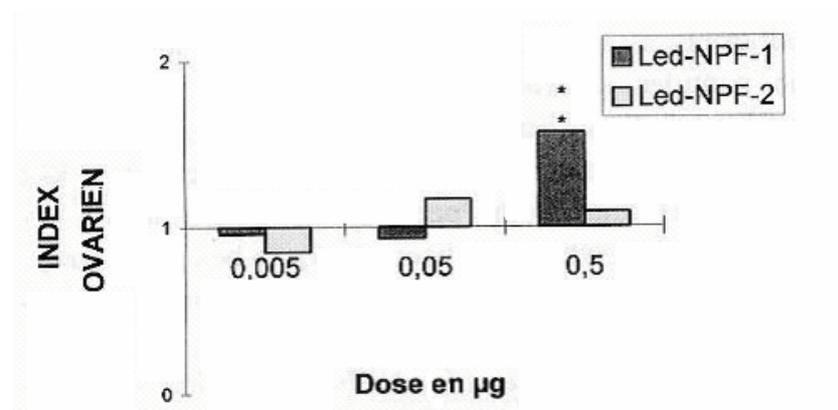


Figure 64. Variations de l'index ovarien mesuré au 11<sup>ème</sup> jour de la vie imaginale, en fonction de différentes concentrations des peptides injectés. Les effets de l'injection sur des femelles pendant 5 jours (des jours 6–10) à différentes concentrations de *Led-NPF-1* et *Led-NPF-2* sont \*\* hautement significatifs ( $p < 0,01$ ).

De plus, des doses de 0,05  $\mu\text{g}$  de *Led-NPF-1* et de *Led-NPF-2* ont été administrées à des femelles adultes 5 fois à raison de 2 fois par jour à partir du jour 6. La dissection a été effectuée le jour 8. Un effet hautement significatif a pu être obtenu avec *Led-NPF-1* mais aucun avec *Led-NPF-2*. L'index ovarien pour *Led-NPF-1* dans cette expérience était de 1,77, ce qui démontre un effet gonadotrope sur une période de 3 jours. Dans la figure 65, nous avons comparé les stades de développement des témoins et des individus testés le 8<sup>ème</sup> jour, après 5 injections consécutives de 0,05  $\mu\text{g}$  toutes les 12 h. Un net changement vers des stades plus avancés illustre l'effet *in vivo* de *Led-NPF-1* sur le développement ovarien. Parmi les animaux testés, 70 % montrent des ovaires en vitellogenèse, tandis que les témoins sont en retard et leurs ovaires sont essentiellement en prévitellogenèse.

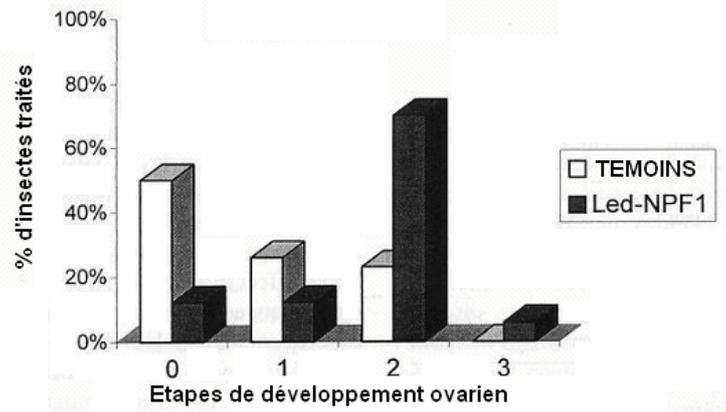


Figure 65. Comparaison du développement des ovocytes chez des individus traités par 5 injections avec une dose de 0,05  $\mu\text{g}$  de *Led-NPF-1*, toutes les 12 h, à partir du jour 6 de la vie imaginaire avec des individus témoins, traités par injection d'eau distillée. Les ovaires des 20 individus témoins et des 20 individus testés ont été disséqués 12 h après la dernière injection. 0: ovaire non développé ; 1: ovaire en prévitellogenèse ; 2: ovaire en vitellogenèse, 3: ovaire choriogénique

Il serait intéressant d'étudier si le *Led-NPF1* a un rôle sur la synthèse de la vitellogénine ou son incorporation dans les ovocytes.

## CHAPITRE IV. DISCUSSION

### I- Variations de la distribution de *L. m. cinerascens* au cours du 20<sup>ème</sup> siècle

#### 1- Position systématique des populations algériennes

Grâce à des programmes de taxinomie numérique appliquées aux caractères morphométriques de 31 groupements géographiques de la phase solitaire de *L. migratoria* (L) distribués dans une partie importante de l'ancien monde, Farrow et Colless (1980) ont montré une plus grande variation morphométrique entre les individus d'une même aire géographique qu'entre sous-espèces. D'une manière générale, les populations naturelles de la sous-espèce *cinerascens* ont été moins étudiées sur le plan morphométrique que les sous-espèces *migratorioides*, *migratoria*, et *manilensis* (Kang *et al.*, 1989 ; Kang et Yonglin, 1991 ; Lecoq, 1991).

A notre connaissance, aucune étude en Algérie n'a porté sur la systématique du genre *Locusta* depuis la synthèse sur les Orthoptéroïdes du Nord de l'Afrique de Chopard (1943). Nos comparaisons ont porté sur des populations solitaires du sud et du nord algérien avec des populations européennes de 3 sous-espèces : *cinerascens*, *migratoria* et *gallica*. Il ressort clairement de nos observations que la sous-espèce *migratoria* se démarque nettement des autres taxons, en particulier par une grande taille de la plupart des organes. Si on considère la distribution des mâles étudiés des populations algériennes, qui est plus complète que celle des femelles, les individus du sud et ceux qui sont éloignés du littoral se trouvent dans la gamme de variation de la sous-espèce *cinerascens* et ne sont pas très éloignés de celle de la sous-espèce *gallica*. Nous n'avons donc pas de raison de rejeter l'appartenance de ces populations à la sous-espèce *cinerascens*.

Les populations littorales sont relativement distinctes des autres populations algériennes en particulier par un plus fort rapport E/P et un plus faible rapport P/C. Il est difficile de préciser le statut taxonomique de ces populations littorales tant que nous ne disposons pas d'autres données sur les populations littorales du sud du Bassin Méditerranéen.

Nous n'avons pas fait de mesures concernant les populations de l'extrême sud Algérien. Leur statut taxonomique reste à étudier en comparant leurs paramètres morphométriques avec la sous-espèce *migratorioides* en phase solitaire des régions limitrophes (Niger et Mali). En effet, Ould El Hadj (1991) a évoqué la présence de la sous-espèce *migratorioides* à Tamanrasset mais ceci demande confirmation.

Il se pourrait cependant d'après Defaut (2005) que *Locusta* « *migratoria* » *cinerascens* ne soit pas une sous-espèce de *Locusta migratoria*, comme il est généralement admis, mais une espèce distincte. En effet, les différences morphométriques concernent des indices aussi importants, taxonomiquement, que les rapports oeil / vertex et oeil / sillon sous-oculaire. Par ailleurs, dans la région de Palavas du littoral français, il y a coexistence des populations séparées de quelques Km, sans qu'il n'y ait d'individus intermédiaires. Ceci montrerait que ces populations sont reproductivement isolées et qu'elles pourraient constituer des espèces différentes. Toutefois, ce dernier point demande à être confirmé dans le cadre d'une révision générale du genre *Locusta*, incluant les spécimens types déposés dans différentes institutions (voir tab.1). Il est nécessaire de connaître en outre les résultats de l'étude taxonomique utilisant des outils moléculaires (microsatellites) entreprise sur ce genre par le CIRAD, à l'échelle mondiale (Chapuis *et al.*, 2005).

## 2- Analyse du bioclimogramme de *L. migratoria cinerascens*

Le bioclimogramme de *L. m. cinerascens* en Algérie a été établi grâce aux observations des adultes de cette sous-espèce dans les différentes localités. Ces observations sont d'origines multiples, puisqu'il s'agit d'une compilation de travaux de thèse, de publications et de spécimens de collection. Or la validité d'une étude bioclimatique repose sur le fait que chaque localité mentionnée, pour laquelle on connaît un certain nombre de paramètres climatiques, constitue réellement un lieu de présence et de vie de l'insecte. Autrement dit, on devrait y observer toutes les générations d'adultes et de larves. En conséquence, ce serait une erreur de considérer une localité, où l'espèce n'est qu'occasionnelle ou accidentelle, ce qui est possible puisque l'on connaît la grande capacité de dispersion de cette locuste. Malgré ces réserves, on constate que de nombreuses localités enregistrées dans les spécimens anciens du laboratoire de zoologie de l'INA ont été signalées plus récemment à l'occasion de travaux d'inventaires et d'études bioécologiques. Cette similitude à de nombreuses années d'intervalles indique que le bioclimogramme que nous avons obtenu est relativement fiable. Cette considération pragmatique est également mise en application par les chercheurs qui construisent des modèles de distribution des espèces (voir l'article de revue de Guisan et Thuiller, 2005).

D'après nos résultats, dans la partie nord algérienne, la fréquence de présence de *L. m. cinerascens* est maximale dans les étages subhumide et humide à hiver doux et chaud et semi-aride à hiver chaud. C'est dans cette aire que les exigences écobiologiques et physiologiques sont satisfaites de manière optimale. Par ailleurs, on le rencontre dans les périmètres irrigués du sud algérien avec une forte probabilité dans l'étage saharien lorsque la moyenne des minima du mois le plus froid (m°C) est supérieure à 5,5°C. La disjonction de l'aire bioclimatique entre les populations nord et sud s'explique très simplement dans la mesure où l'irrigation des périmètres de mise en valeur constitue une compensation hydrique à la très faible pluviosité.

En conséquence, en raison du caractère artificiel de la présence de l'espèce dans la partie sud, c'est le bioclimogramme de la partie nord qui représente le mieux les limites bioclimatiques de l'espèce. Cependant, les observations de *L. migratoria* dans les localités où nous disposons d'informations climatiques ne reflètent pas la totalité de l'aire bioclimatique de la sous-espèce *cinerascens*. Celle-ci ne pourrait être obtenue qu'en étudiant la fréquence d'occurrence dans l'ensemble des localités de son aire de répartition dans le bassin méditerranéen (voir fig. 6). Cela concernerait en particulier des villes où  $m$  est supérieur à 9°C. Cette information plus globale est indispensable pour appréhender la distribution potentielle de l'espèce à l'échelle de l'Algérie.

Si l'on raisonne avec une résolution plus fine, ce sont des facteurs de type perturbation humaine et la présence de ressources trophiques en quantité et en qualité qui vont conditionner localement la présence de l'espèce (Guisan et Thuiller, 2005). A cet égard, nous avons montré que la probabilité de présence de l'espèce dans le nord algérien était liée à la richesse floristique totale, en particulier au nombre de graminées et non aux types de milieux étudiés (friches, maquis, pinèdes, clairières, terrains cultivés, dunes). Il faut reconnaître que dans la majorité des cas, ces milieux n'ont pas concerné les zones de prédilection de la sous-espèce, c'est-à-dire les habitats méso-hygrophiles tels que les jonchaies et les phragmitaies, du moins dans le sud de la France (Petit, comm. pers.). A ce titre, il serait intéressant d'explorer systématiquement différents habitats méso-hygrophiles, plutôt que des zones herbacées plus ou moins riches en graminées, pour préciser les limites de répartition de cette sous-espèce.

3- Variation temporelle de la distribution de *L. m. cinerascens*

## 3-1- Conquête du nord ou conquête du sud ?

Si l'on considère la répartition de l'espèce selon les sources d'informations qui portent sur 3 périodes (avant 1943- Chopard, 1943 ; 1946-1956- collections ; de 1988 à nos jours- thèses et travaux), on remarque que l'espèce n'est signalée au Sahara algérien qu'à partir de 1991 (Ould El Hadj, 1991) à Tamanrasset. Plus tard en 1994, l'espèce a été rencontrée dans les périmètres irrigués de Zaouiet-Kounta (Adrar) par des équipes de prospection de l'INPV (Drias, 1994). Les 2 localités les plus méridionales de *L. migratoria* signalées jusqu'en 1943 par Chopard, sont Biskra et surtout Laghouat. Cela veut-il dire pour autant que l'espèce était absente dans les localités sahariennes avant 1991 ? Il est possible qu'elle y ait été présente à l'état d'individus isolés et qu'elle soit passée inaperçue. Tout dépend de l'effort d'investigation pour l'orthoptérofaune de ces localités. Or l'ouvrage de Chopard (1943) fait état de la distribution de l'ensemble des espèces enregistrées entre 1890 environ et 1943. Nous avons recherché en particulier si le groupe d'espèces associé à *Locusta* selon nos travaux (tab. 32 et 39) était présent ou non dans les zones sahariennes avant 1943.

Tableau 39. Présence de l'acridofaune dans des localités du sud et du Sahara algérien (Chopard, 1943).

Espèces	Ghardaïa El Goléa	Ouargla	Biskra	Laghouat	Tamanrasset et environs
<i>Acrida turrita</i>			+		+
<i>Acrotylus longipes</i>					+
<i>Acrotylus patruelis</i>	+		+	+	
<i>Aiolopus strepens</i>					+
<i>Aiolopus thalassinus</i>			+		
<i>Anacrydium aegyptium</i>	+		+	+	
<i>Duroniella lucasi</i>	+	+	+		
<i>Euchorthippus albolineatus</i>	+			+	
<i>Eyprepocnemis plorans</i>					
<i>Heteracris harterti</i>		+	+		
<i>Acanthacris ruficornis</i>	+	+	+	+	+
<i>Acrotylus insubricus</i>			+		
<i>Heteracris adspersus</i>					
<i>Heteracris annulosus</i>					
<i>Morphacris sulcata</i>			+	+	+
<i>Ochrilidia geniculata</i>					
<i>Ochrilidia gracilis</i>	+		+	+	
<i>Ochrilidia harterti</i>					+
<i>Ochrilidia rothschildi</i>					+
<i>Ochrilidia kraussi</i>	+				
<i>Wernerella pachekoi</i>					+

On constate ainsi que l'acridofaune associée à *L. migratoria* a été bien étudiée dans les localités sahariennes. En conséquence, il est peu vraisemblable qu'une espèce d'une aussi grande taille que *L. migratoria* soit passée inaperçue. Quatre autres espèces de cette acridofaune associée n'étaient pas répertoriées en 1943 : *Eyprepocnemis plorans* (Charpentier, 1825) (fig. 66), *Heteracris adspersus* (Redtenbacher, 1889), *Heteracris annulosus* (Walker, 1870) et *Ochrilidia geniculata* (Bolivar, 1913).



Figure 66. *Eyprepocnemis plorans* (photo E. Boitier, Corse, Juillet 2005).

En résumé, la colonisation par cette série d'espèces, et en particulier *L. m. cinerascens*, dans les régions du Sahara septentrional (Ouargla et Ghardaïa), du Sahara Central (Adrar) est vraisemblablement postérieure à 1943.

On peut donc émettre l'hypothèse que la migration de la sous-espèce *cinerascens* dans ces régions se soit déroulée du nord vers le sud, peut-être à la faveur des aménagements agricoles avec les périmètres irrigués. Cette hypothèse est étayée par les résultats de nos mesures morphométriques. En effet, nous avons montré une grande proximité morphologique, pour les mâles, entre les populations des régions d'Adrar et de Ouargla avec les populations du nord algérien qui sont éloignées du littoral. Il serait intéressant d'étudier sur le plan morphologique des individus femelles de ces mêmes régions pour tester cette hypothèse. Quant à l'extrême sud algérien (Tamanrasset), il faudrait établir le statut taxonomique des populations présentes (sous-espèces *migratorioides* et/ ou *cinerascens*) pour se prononcer sur le sens de(s) migration(s).

### 3-2- Effets des changements climatiques sur la distribution de *L. m. cinerascens* en Algérie

Un travail pionnier de Benabadji et Bouazza (2000) sur la bioclimatologie de l'ouest algérien, au niveau des hauts plateaux à *Artemisia herba-alba*, a montré une accentuation nette de la sécheresse entre la période ancienne (1913-1938) par rapport à la récente (1970-1990). Leur base de raisonnement a consisté à reporter dans un même climagramme des données climatiques des deux périodes se rapportant à une même localité. Ces auteurs constatent que certaines stations sont passées de l'étage semi-aride à l'aride et d'autres de l'étage aride au saharien. Dans la plupart des cas, cela correspond à un déficit des précipitations en automne. La moyenne des minima du mois le plus froid (m°C) des stations étudiées était située entre -1 et + 4°C. D'autres auteurs ont mis en place des ateliers de travail sur le réchauffement climatique dans les pays du Maghreb. Les résultats préliminaires indiquent un réchauffement durant le 20<sup>ème</sup> siècle, estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les 40 dernières années (Agoumi, 2004). Par ailleurs, la fréquence des sécheresses a nettement augmenté : on est passé d'une sécheresse tous les 10 ans au début du siècle à 5 à 6 années de sécheresses en 10 ans actuellement. Ce phénomène est amplifié par la nature excessive de rares années humides avec une pluviométrie très forte répartie sur une courte période de l'année.

Bien que cette observation générale de l'assèchement soit reconnue, très peu de travaux portent sur les variations de distribution des espèces dans le Maghreb en rapport avec les changements climatiques globaux.

Concernant *L. migratoria*, nous avons établi que le maximum de fréquence correspond à des valeurs de m supérieures à 5 °C dans les étages semi-aride mais surtout subhumide et humide

(fig. 21). Prenant exemple sur Benabadji et Bouazza (2000), nous avons porté sur un climagramme (fig. 67) toutes les localités pour lesquelles on disposait de valeurs récentes et anciennes des paramètres climatiques.

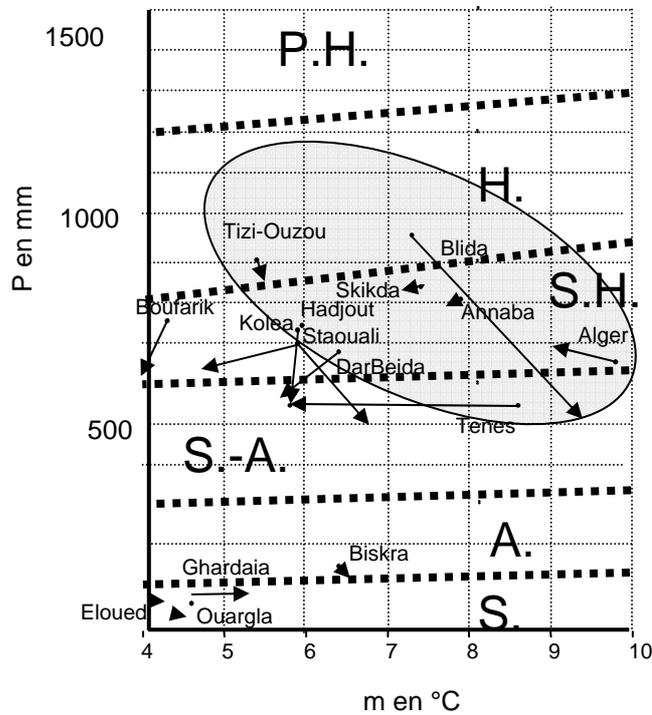


Figure 67. Déplacement des étages bioclimatiques de certaines localités entre les périodes ancienne (1913-1938) et récente (1975-2000). L'ellipse correspond à l'aire d'occurrence maximale de *L. migratoria*. Abréviations des étages bioclimatiques : P.H. : per-humide, H : humide, S.H. : subhumide, S.A. : semi-aride, A. : aride et S. : saharien.

En raison du manque de valeurs de M (moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C) pour certaines localités, le climagramme a été construit (fig. 67) en retenant les valeurs de m (°C) et P (mm).

D'après la figure 67, on remarque que certaines stations situées dans l'étage humide dans la période ancienne se retrouvent aujourd'hui dans l'étage semi-aride. Ce phénomène est particulièrement accentué pour Blida qui n'est plus dans l'étage humide mais dans l'étage semi-aride. Il faut souligner cependant que les valeurs de m ne montrent pas d'orientation bien définie : certaines valeurs ont augmenté, alors que d'autres ont diminué.

Par ailleurs, nous avons prouvé que la pluviométrie au niveau des localités étudiées augmentait avec la proximité du littoral. Cette dernière relation n'est pas en contradiction avec les observations sur les variations des précipitations enregistrées en régions montagneuses. En effet, ce n'est qu'à partir de 1000 m environ que l'on peut mettre en évidence des gradients pluviométriques croissants en Algérie (Le Houérou *et al.*, 1975 ; Abdessemed, 1984).

Pour faire face aux changements climatiques, le criquet migrateur pouvait soit se déplacer en altitude, soit vers la côte de manière à compenser l'assèchement de son milieu environnant. Mais le fait de gagner de l'altitude semble constituer une contrainte pour cette espèce dans la mesure où le climagramme montre que m est un facteur limitant pour des valeurs trop fraîches. En revanche, le déplacement vers la côte ne présente pas cet inconvénient de la diminution des m, bien au contraire. Effectivement, avons montré qu'entre la période

ancienne et la période récente, la distribution de *L. migratoria* s'est déplacée de manière significative vers la côte (fig. 26).

Nos résultats sont-ils susceptibles de critiques par rapport à un biais d'échantillonnage notamment ? Concernant les collections du criquet migrateur de la période 1944-1956 conservées au laboratoire de zoologie de l'INA, le fait qu'il y ait eu des chercheurs permanents comme Pasquier et ses collaborateurs a certainement entraîné une sur-représentation des spécimens provenant de la région d'Alger. Ce biais devrait pouvoir être contourné en analysant la distribution d'un grand nombre d'espèces d'Acrididae de manière à établir une distribution moyenne dans l'ensemble des localités algériennes inventoriées, puis en extrayant par des méthodes de régression la distribution propre de *Locusta*. Il est peu vraisemblable que cette critique s'étende aux inventaires de Chopard (1943), pour la simple raison que les chercheurs à cette époque organisaient des missions à travers tout le territoire algérien de manière à établir l'inventaire le plus exhaustif possible. Néanmoins, il conviendra dans le futur de vérifier l'absence de biais en utilisant la même méthode que précédemment. Il en serait vraisemblablement de même pour les travaux récents qui ont couvert des localités situées dans des régions très dispersées du territoire algérien.

## II- Cycle, générations et état phasaire de *Locusta migratoria*

### *1- Cycle biologique de la sous-espèce cinerascens*

Nos travaux portant sur l'étude des populations dans les périmètres irrigués aboutissent à la conclusion que 3 générations se succèdent au cours de l'année. On distingue une génération printanière dont les premières larves s'observent mi mars et les adultes du début avril à la fin juin. Il s'ensuit une génération printano-estivale dont les larves sont observées de la mi-mai jusqu'au début juillet et les adultes de la deuxième semaine de juin au début août. Les larves de la génération estivo-automnale se rencontrent de la mi-août à la mi-octobre tandis que les adultes observés dès septembre peuvent passer la mauvaise saison et restent jusqu'à début mars.

Ce cycle peut être comparé à celui décrit par Foucart (1997) dans la plaine de la Crau en France. Cet auteur a montré que les larves s'observent en avril et que des adultes sont présents au cours de deux périodes qui sont de mai à juillet d'une part et de septembre à octobre d'autre part. Selon son interprétation, les adultes de première génération émigrent au cours de juillet vers des zones humides où ils vont pondre. La seconde génération automnale qui en résulte retourne dans la plaine de la Crau pour se reproduire. Ce sont les œufs issus de cette génération qui passent l'hiver à l'état de diapause.

En Turquie, il existe deux générations annuelles. Deveci (1996) a montré que la transition hivernale pouvait être accomplie soit à l'état d'œufs produits par la génération automnale soit par des adultes diapausants, du moins dans la plaine d'Izmir. Cet auteur suggère en outre la possibilité d'une troisième génération pour cette même sous-espèce.

En conclusion, il apparaît une certaine homogénéité du cycle de la sous-espèce *cinerascens* à travers différentes régions du Bassin Méditerranéen, bien que les données soient fragmentaires. Les observations des populations de Turquie nous incitent à effectuer des études pour savoir si le passage en hiver dans la région d'Adrar s'effectue uniquement à l'état d'adultes diapausants ou en plus à l'état d'œufs diapausants.

Dans le nord de l'Algérie, les seules données sont fournies par les informations présentes sur les étiquettes des collections. La grande majorité correspond à la période septembre-octobre et quelques une de mars à août. Il serait intéressant d'étudier s'il existe 1 ou 2 générations durant

la saison printano-estivale sachant que la génération automnale est manifestement bien représentée.

Le cycle de la sous-espèce *cinerascens* est donc bien différent de celui de la sous-espèce *migratoria* qui est univoltin (rarement bivoltin) selon Farrow et Colless (1980), les œufs diapausants étant résistants au gel en Europe de l'Est et en Asie. Concernant la sous-espèce *gallica*, Chopard (1951) indique qu'il n'existerait qu'une seule génération, les adultes apparaissant vers la fin du mois de juin et la ponte s'effectuant entre septembre et octobre. A ce titre, ces deux dernières sous-espèces partagent le même cycle.

Les sous-espèces tropicales, en particulier *migratorioides* sont plurivoltines et sans diapause. Selon Lecoq et Launois-Luong (1989) et Popov (1996), les solitaires ont 4 à 5 générations annuelles tandis que les grégaires n'en ont le plus souvent que 3.

## 2- Sexe-ratio

Selon Chapman et Joern (1990), le sexe-ratio d'une grande variété d'espèces d'Acrididae est conforme à l'équilibre entre mâles et femelles. Cependant, ces auteurs reconnaissent que le sujet a été peu exploré.

Nos travaux montrent que pour la 1<sup>ère</sup> génération de *L. m. cinerascens*, le sexe-ratio est très déséquilibré en faveur des mâles au début, ce qui correspond vraisemblablement à une protandrie, c'est-à-dire à une émergence précoce des mâles. Progressivement, au sein de cette même génération le sexe-ratio s'équilibre puis progresse en faveur des femelles. Il ne reste pratiquement que des femelles parmi les dernières larves de cette génération. Cette tendance a également été trouvée dans les populations naturelles de *Melanoplus sanguinipes* par Mulkern (1983). Cependant, on observe une situation contraire dans les populations en essais de *S. gregaria* (Popov, 1954), où les femelles meurent avant les mâles. Or, en conditions d'élevage, Mulkern (1983) n'a jamais observé de déviation par rapport à l'équilibre mâle/femelles chez les larves de la même espèce. Ce sont donc les conditions naturelles qui induisent des variations temporelles dans le sexe-ratio par rapport aux conditions d'élevage.

Dans les générations printanières et printano-estivale de *L. m. cinerascens*, les sexe-ratios sont conformes à l'équilibre mâle/femelle et nous n'avons pas observé de variations temporelles.

Plusieurs hypothèses non incompatibles peuvent être formulées pour interpréter les variations temporelles du sexe-ratio dans la 1<sup>ère</sup> génération :

- Protandrie et durée de vie identique des individus des 2 sexes. Les mâles sont les premiers à émerger et les premiers également à mourir. Le mécanisme sous-jacent à cette protandrie, qui n'existe pas dans les deux générations suivantes, mérite d'être exploré. On peut penser au rôle de la température qui est plus fraîche au mois de mars et qui favoriserait l'émergence des mâles au détriment des femelles (fig. 68). La protandrie pourrait également avoir un rôle adaptatif. S'il existe une compétition pour les mâles pour la reproduction, les premiers mâles émergeant, ont plus de chances de transmettre leurs gènes. Inversement, il a été montré chez l'Acrididae *Sphenarium purpurascens* que la protandrie favorise les chances de reproduction des femelles (Cueva Del Castillo et Núñez-Farfán, 1999).
- Contraintes nutritionnelles. Lorsque les insectes se développent sur le blé, l'état phénologique des plantes en début de saison serait plus favorable pour les mâles mais il avantagerait les femelles en fin de saison. En effet l'alimentation peut modifier le sexe-ratio comme l'a montré Pickford (1962) en élevant *M. sanguinipes* sur des plantes peu nourrissantes.

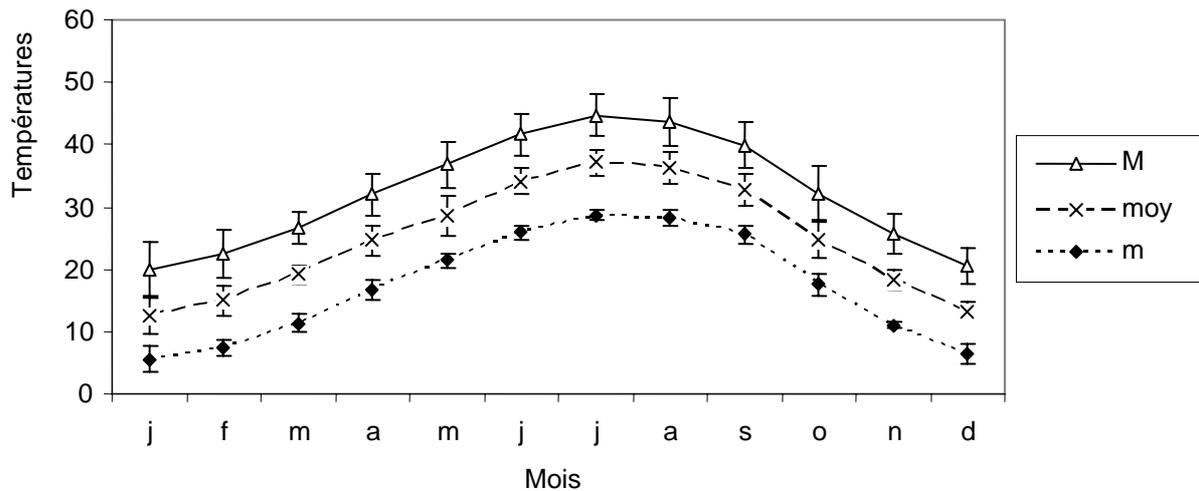


Figure 68. Variations mensuelles (moyennes  $\pm$  écart-types) des températures à Adrar (d'après le tableau 14B). m : moyenne des minima du mois le plus froid, en °C, M : moyenne des maxima du mois le plus chaud, en °C.

En résumé, il nous semble peu vraisemblable que l'on puisse invoquer des variations de sexe-ratio en rapport avec un intérêt adaptatif, dans la mesure où ne retrouve pas cette tendance aux deux générations suivantes. Nous portons notre attention soit à des contraintes de température ou nutritionnelles. Nous reviendrons sur ce point dans la partie relative à l'alimentation.

### 3- Transitions de phase, grégarisation

La densité est le principal facteur de régulation phasaire et peut se décrire au moyen de trois paramètres : l'effectif des individus d'une population, la densité de population exprimée par  $m^2$  ou par hectare et la surface du biotope. Ces paramètres interviennent sur la densation qui est l'évolution de la densité dans l'espace et dans le temps. C'est cette densation qui va permettre d'appréhender la transition d'une phase à une autre.

Le regroupement des individus peut être induit par l'action directe des facteurs du milieu, par une réaction d'orientation comme vers un pôle d'attraction, et par l'adoption de certains sites préférés au cours de leurs déplacements dans un biotope. Dans le cas des populations du sud algérien, nous avons montré précédemment que la présence de *L. m. cinerascens* est vraisemblablement récente et est liée en particulier aux aménagements agricoles humains. La région du plateau de Stah Azzi, est celle qui abrite les foyers de pullulation de cette sous-espèce (Benfekih *et al.*, 2002). En effet, c'est là où le nombre de périmètres de mise en valeur est le plus important. Globalement, cette concentration de périmètres irrigués assure en permanence un micro-climat relativement humide. Ceci est illustré par la figure 29 où les densités maximales sont observées aux alentours de 27° de latitude nord.

Cependant, ces pullulations, depuis qu'elles ont commencé à être observées, n'ont jamais abouti à l'apparition d'une phase grégaire reconnaissable par des critères morphométriques, de coloration et de comportement. D'après nos constatations, les populations qui se sont le plus rapprochées de cette phase sont celles de 1995, période à laquelle se trouvait le maximum de superficies céréalières irriguées à Adrar et le maximum de densités imaginales (fig. 41A et B).

*Locusta migratoria cinerascens* ne s'est jamais montré à l'état grégaire en Afrique du Nord et selon Chopard (1943) ne se montrera vraisemblablement jamais sous cette forme, les conditions écologiques nécessaires à sa formation ne s'y trouvant pas rassemblées. Cette

sous-espèce est certainement très peu grégariapte dans les conditions naturelles puisque la seule observation de la forme grégaire à notre connaissance est celle relatée par Jannone (1936) en Italie. Cependant, cette sous-espèce peut devenir aisément grégaire sous des conditions contrôlées de laboratoire ainsi que l'ont montré Nicolas (1970, 1972, 1973), Nicolas et Ismaïl (1979) et Nicolas *et al.* (1969, 1979). Il y a là une contradiction qu'il faut interpréter.

Il est instructif de détailler le processus de grégarisation chez une sous-espèce du criquet migrateur très grégariapte. Chez la sous-espèce Malgache *L. m. capito*, des conditions locales favorables ne constituent qu'une des étapes vers la transformation de la phase solitaire vers la phase grégaire. Elles doivent être nécessairement précédées d'apports de populations solitaires entraînant une importante concentration des pontes parentales. Un départ d'invasion peut se produire, à partir des populations sédentaires, en moins de 2 ou 3 générations successives (Launois, 1974). Chez les larves, les principales conditions qui favorisent le maintien d'une densité larvaire suffisante déclenchant la grégarisation sont la concentration des pontes, une bonne réussite des développements embryonnaire et larvaire, une simultanéité des éclosions et une synchronisation du développement larvaire, l'effet attractif d'un abri, d'une plante, d'un sol, et une réduction progressive des surfaces colonisables (dessèchement).

Or, dans les populations d'Adrar, si on observe de fortes densités larvaires pour la génération estivo-automnale, les générations printanière et printano-estivale (fig. 34) ne montrent que de faibles densités. Nous émettons donc l'hypothèse que cette non constance de densités élevées dans les 3 générations intervient dans l'absence du passage de l'état *transiens* à l'état *gregaria*. Par ailleurs, la photopériode pourrait également jouer un rôle dans la mesure où Cassier (1968) et Albrecht et Lauga (1978) ont montré que les jours courts ou en phase d'allongement, parallèlement à l'augmentation des températures, ont un effet solitarisant chez *L. m. migratorioides*. Or la période la plus favorable du point de vue longueur du jour (juin-juillet) correspond précisément à celle où les densités larvaires et imaginaires des populations des périmètres irrigués sont les plus faibles. En effet, les faibles densités d'adultes de la génération printano-estivale correspondent à la période des moissons des céréales pendant laquelle les adultes se dispersent et se déplacent en direction de parcelles maraîchères avoisinantes, les cultures sous palmeraies ainsi que des champs de sorgho en pleine décroissance.

### III- Nutrition de *Locusta migratoria* dans les périmètres irrigués

La sous-espèce *cinerascens*, comme les autres sous-espèces de *Locusta migratoria*, est graminivore dans les périmètres irrigués du Sahara algérien. La graminivorie de *Locusta* n'est pas originale car de nombreux Oedipodinae partagent cette oligophagie (Chapman et Joern, 1990). Cependant, on peut trouver occasionnellement des Dicotylédones dans le régime alimentaire de cette espèce (Zergoun et Bourouh, 2002). Selon Roerich (1951b), cette consommation des Dicotylédones intervient lorsque les graminées sont desséchées et les Dicotylédones représentent alors une ressource hydrique.

Bernays et Chapman (1970, 1994) montrent que chez trois espèces de Gomphocerinae graminivores, *Chorthippus parallelus*, *Euchorthippus pulvinatus* et *Omocestus viridulus*, il y a une proportionnalité entre la disponibilité des espèces de graminées sur le terrain et leur consommation effective. Ce type d'alimentation dit fréquence-dépendante dans la littérature ou RCRP (relation entre consommation et recouvrement des Poaceae) par nous-mêmes, a également été retrouvé chez les larves L4 et L5 et les adultes des populations sud algériennes de *L. m. cinerascens* (fig. 42 A, B et C). Launois-Luong (1975) a fait la même constatation sur *L. m. capito* à Madagascar dans les trois biotopes étudiés (fourrés à *Acacia farnesiana*, prairie à *Cynodon dactylon* et savane à *Heteropogon contortus*).

Nous avons démontré que la RCRP ne dépendait pas du sexe mais qu'elle était influencée par le recouvrement global des plantes : lorsque ce recouvrement est faible, les adultes ne s'alimentent pas proportionnellement avec l'abondance des différentes espèces de graminées. Comme la distribution des espèces graminéennes de taille élevée, sur lesquelles on trouve le plus souvent les ailés, n'est pas homogène mais de type mosaïque, on peut émettre l'hypothèse que ces adultes vont consommer localement la ou les graminées les plus abondantes. Or, cette abondance locale de telle ou telle espèce de plante ne se retrouve pas globalement au niveau de la station. Les larves quant à elles se nourrissent au niveau d'herbes basses et de repousses, qui sont distribuées de manière plus diffuse que les grandes herbes, ce qui explique que leur consommation suit la RCRP.

Nous avons par ailleurs établi que dans chacun des sites étudiés, les L4, L5 et les adultes montrent des régimes alimentaires le plus souvent différents. Cela pourrait provenir non seulement de besoins nutritifs propres à chaque stade mais aussi d'une préférence envers un stade phénologique donné (selon la dureté, la teneur en eau et la composition biochimique des graminées) (Soohoo et Fraenckel, 1966; Launois-Luong, 1975; Louveaux *et al.*, 1983). En outre, les mâles ont souvent des régimes distincts de ceux des femelles. Cette différence observée selon le sexe ne se retrouve que dans une très faible mesure chez les populations de *L. m. capito* étudiées à Madagascar par Launois-Luong en 1975. Enfin, dans les 9 sites étudiés, les larves de stade 5 ont systématiquement une alimentation qui se démarque de celle des larves de stade 4 et des adultes (fig. 44), ce qui a été montré expérimentalement par Launois-Luong (1975). On peut conclure qu'au niveau des stations étudiées, il y a un partage des ressources trophiques selon le stade biologique et le sexe, dont l'intérêt est qu'il permet d'éviter la compétition. Les mécanismes mis en jeu pour comprendre les particularités alimentaires des L5 sont à étudier. Il serait intéressant de déterminer si cela pourrait provenir d'une pression de sélection intraspécifique (compétition) ou d'un comportement intrinsèquement original.

Par les méthodes de régression, nous avons mis en évidence les degrés de préférence ou d'évitement des différentes espèces graminéennes. Ce phénomène a également été décrit à partir d'observations de terrain et de choix alimentaires en laboratoire par Launois-Luong (1975). Il s'avère que le blé est l'espèce la moins appétente alors que le sorgho est la plus surconsommée (fig. 45) au niveau des périmètres irrigués. Le taux de consommation du blé est complexe dans la mesure où il dépend du nombre d'espèces graminéennes présentes.

Les causes de ces préférences alimentaires sont certainement d'ordre nutritionnel mais d'autres facteurs peuvent intervenir comme la tendreté, la teneur en eau et la présence de molécules répulsives (Bernays et Chapman, 1994). La qualité nutritionnelle dépend surtout de la quantité d'azote qui reflète le contenu en acides aminés et en protéines. Il serait intéressant d'effectuer des dosages des acides aminés majoritaires chez les graminées présentes sur le terrain (fig. 45) et ceci pour 2 ou 3 stades phénologiques. En effet, une recherche bibliographique préliminaire (Rulquin *et al.*, 2001) montre que la lysine (exprimée en g /100g de protéines digestibles) a une teneur supérieure chez *Lolium multiflorum* et *Sorghum vulgare* à celle que l'on observe chez *Triticum durum* (tab. 40).

Tableau 40. Teneur en lysine chez 3 espèces de graminées (Rulquin *et al.*, 2001)

Espèces	Teneur en lysine g/100 g protéines digestibles	
	épiaison	floraison
<i>Lolium multiflorum</i>	7,22	7,33
<i>Sorghum vulgare</i>	7,35	7,39
<i>Triticum durum</i>	6,88	7,01

On pourrait émettre l'hypothèse que cet acide aminé est particulièrement apprécié par *L. migratoria*, mais ceci mériterait d'être testé expérimentalement.

Les propriétés physiques des graminées telles que la dureté, la présence de poils et de dents sur la marge des feuilles jouent un rôle dans les préférences alimentaires comme l'ont bien montré Bernays et Chapman (1970) sur *Chorthippus parallelus*.

Concernant les molécules répulsives du métabolisme secondaire produites par les plantes, on peut citer des alcaloïdes du groupe des pyrrolizidines (Boppré *et al.*, 1984), des quinolizidines (Picaud *et al.*, 2003), des glucosides (Mainguet *et al.*, 2000) ou des tannins (Boppré et Fisher, 1994). D'une manière générale, les graminées sont moins riches en molécules du métabolisme secondaire que les dicotylédones. Cependant, l'appétence des graminées consommées par *L. migratoria* dépend des espèces. Nous avons donc cherché dans la littérature quelles pourraient être les molécules impliquées dans ces différences. Woodhead et Bernays (1978) et Woodhead (1982) ont montré que lors de la morsure de *Sorghum bicolor* par *L. m. migratorioides*, un cyanoside glucogénique est clivé par une enzyme digestive libérant ainsi du cyanure à fort effet répulsif. Ces auteurs ont aussi mis en évidence la présence de composés phénoliques sur la cirre cuticulaire des feuilles. Malgré cela, le peu d'appétence de *S. bicolor* n'est pas général pour le genre. En effet, Ohabuiké (1979b) a constaté que *S. trichopus* fait partie des espèces les plus appréciées des populations naturelles de *L. m. migratorioides* au Soudan, avec *Panicum sp.*, *Oryza longistaminata*, *Echinochloa sp.*, *Hyparrhenia. sp.*, *Cynodon sp.* et *Cenchrus sp.* Dans ce même pays, Hassan (1978) rapporte que dans la province de Kassala, 80 % des superficies cultivées en sorgho ont fait l'objet de dégâts importants en 1968. Il serait intéressant de comparer la variabilité des substances répulsives et leur teneur chez les différentes espèces de sorgho.

Concernant le blé, nous n'avons pas trouvé dans la littérature de molécules susceptibles d'être répulsives pour *L. migratoria*. En conséquence, la sous-consommation du blé dur sur le terrain résulterait plutôt de sa faible qualité nutritive.

Nous avons donc comparé la croissance et la survie de *L. migratoria* avec 3 catégories alimentaires (blé, sorgho et mélange de graminées adventices) de manière à comprendre le régime alimentaire observé sur le terrain et donner des éléments d'explication sur les variations de certains paramètres biologiques (densités, sexe-ratio, stress de développement). L'ensemble des résultats obtenus est synthétisé dans le tableau 41.

Tableau 41. Synthèse sur les effets de la nutrition

MGA : mélange de graminées adventices (*Bromus madritensis*, *Lolium multiflorum* et *Avena sterilis*)

Etude	Paramètres étudiés	Stade larvaire	Effet nourriture			Effet sexe	
			Blé	Sorgho	MGA	mâles	femelles
laboratoire	Durée du stade	L4	(+) longue	(-)longue	beaucoup (-)longue	pas d'effet	pas d'effet
		L5	Pas d'effet			(-)longue	(+) longue
	Vit. croissance début de stade	L4	défavorable	favorable	favorable	limite de significativité	
		L5	défavorable	favorable	favorable	limite de significativité	
	Vit. croissance fin de stade	L4	peu favorable	très favorable	favorable	pas d'effet	pas d'effet
		L5	Pas d'effet			(-) élevée	(+) élevée
Survie larvaire	L4	faible	maximale	maximale	(+) élevée	(-) élevée	
	L5	faible	maximale	maximale	-	-	
terrain	Stress développement	adultes	forte asymétrie	faible asymétrie	-	non significatif	

- Régime alimentaire

Nous confirmons l'hypothèse du peu d'appétence du blé en liaison avec sa faible qualité nutritive car la croissance et la survie avec cette source de nourriture sont relativement faibles. La variété de *T. durum* cultivée dans les périmètres irrigués semble entraîner des carences pour le développement de *L. migratoria*. Nous avons en effet souligné qu'aucune femelle élevée avec du seul blé dur n'est arrivée au stade imaginal.

Les substrats alimentaires à base de sorgho ou de mélange de graminées adventices conduisent à un développement de *L. migratoria* satisfaisant. Sur les 3 espèces de graminées données en mélange, *Bromus madritensis* et *Lolium multiflorum* sont parmi celles qui sont le mieux appréciées par cet insecte dans les périmètres irrigués. Par ailleurs, Acheuk (2000) a montré que la croissance des larves de différents stades de *L. m. cinerascens* était plus rapide avec *Sorghum vulgare* qu'avec *Pennisetum purpureum*. Ohabuiké (1979a) a également observé que *S. vulgare* favorisait la croissance de *L. m. migratorioides*. Ces quelques exemples issus de nos travaux et de la littérature, y compris ceux de Bernays et Chapman (1994) sur la nutrition des Acrididae, confortent donc l'idée que la prise alimentaire d'une espèce végétale dépendait bien de sa valeur nutritive pour la croissance de l'insecte.

- Densités

Les mélanges de graminées favorisent la croissance et la survie des populations de *L. m. cinerascens* en conditions d'élevage, ce que l'on retrouve dans les champs peu entretenus. Nous avons en effet montré que les densités de locustes sont proportionnelles à l'enherbement des champs, tant chez les larves que les adultes (Benfekih *et al.*, 2002). Nos observations sont en accord avec celles d'Ohabuiké (1979a) qui a observé que les populations les plus denses de *L. m. migratorioides* sont celles où toutes les espèces de graminées sont en proportions équivalentes.

- Sexe-ratio

Nos expérimentations montrent que la croissance et le développement des populations sur le blé seul entraîne un biais du sexe-ratio en faveur des mâles. Ceci pourrait correspondre à la situation que l'on observe chez les premiers individus de la génération printanière. Progressivement, la quantité de mauvaises herbes augmente au cours des semaines ce qui devrait conduire à un équilibre du sexe-ratio. En revanche, la nette prédominance des femelles chez les derniers individus de cette génération printanière ne peut s'expliquer par une cause trophique. En conséquence, la grande variation temporelle du sexe-ratio dans la génération printanière nous incite à penser que des raisons autres que nutritionnelles rendent compte de la protandrie. Nous avons déjà évoqué l'influence possible de la température et/ou de la photopériode. Ce résultat original mérite d'être approfondi.

Concernant les deux générations suivantes, elles ont des sexe-ratios équilibrés ce qui est en accord avec nos résultats d'élevage sur le sorgho.

- Stress de développement

La méthode que nous avons utilisée pour mesurer le stress de développement est une méthode originale, dérivée de celle de Klingenberg et McIntyre (1998). Elle nous a permis de vérifier que les populations naturelles évoluant sur le blé se développaient « moins harmonieusement » que celles évoluant sur le sorgho. Cette approche confirme les problèmes de survie constatés sur le blé comme source de nourriture. Par d'autres méthodes, l'asymétrie fluctuante a été étudiée chez le criquet *Chorthippus parallelus* (Jentzsch *et al.*, 2003) montrant que les hautes altitudes ont un effet significatif sur le stress de développement. Clarke (1992, 1993), par des méthodes simples de mesure d'asymétrie fluctuante de divers

insectes, a montré l'utilité de cet outil comme diagnostic de pollution. Nous pensons que notre approche pourrait être étendue à la comparaison entre individus solitaires, *transiens* et grégaires de *L. migratoria* se développant sur plusieurs sources de nourriture. Il se pourrait que la précision du diagnostic du stress de développement dépende de la phase.

#### IV- Perspectives de lutte contre *Locusta migratoria*

Le but de cette approche est d'explorer des méthodes qui aboutiraient à la plus grande spécificité possible d'action contre le ravageur cible, *Locusta migratoria*. En effet, comme il a été dit dans les généralités, les méthodes peu spécifiques ont un impact sur une partie importante de la biodiversité représentée par les orthoptères. Nous avons déjà souligné leur rôle reconnu dans les réseaux trophiques faisant intervenir en particulier des oiseaux, des mammifères et des reptiles. Les résultats que nous avons obtenus sont discutés par rapport à la littérature de façon à proposer des perspectives de lutte.

##### 1- Effets des différents modes d'administration de *B. subtilis* et des toxines de *B. thuringiensis*

###### 1-1- Interprétation des essais de lutte avec *B. subtilis*

Les principaux résultats obtenus ont été synthétisés dans le tableau 42. Le mode d'administration le plus efficace pour tuer les larves consiste en l'injection de spores (souches VIII<sub>3</sub> et surtout II<sub>4</sub>) en particulier à la dose la plus élevée (dose 1).

On peut se poser la question sur le mode d'action de cette bactérie. Dans la mesure où l'injection des spores est plus efficace que leur ingestion, on peut émettre l'hypothèse que l'intestin ne constitue pas une cible pour l'effet toxique de la bactérie ou que l'intestin lui-même ne convienne pas à sa croissance. Un des aspects intéressants de nos résultats est que la bactérie perturbe le métabolisme de *L. migratoria* puisque les larves traitées à faible dose montrent une perte de poids. De plus, la vitellogenèse est inhibée lors de la maturation des ovocytes terminaux dans la phase pré-reproductive et il y a augmentation de la résorption ovocytaire à la phase reproductive.

Tableau 42. Résumé de l'effet des différentes souches et inoculums de *B. subtilis*. Les indications sont données par rapport aux témoins.

Paramètres étudiés	mode de traitement			souches		
	Injection de spores	Injection de cellules végétatives	Ingestion de spores	B <sub>213</sub>	VIII <sub>3</sub>	II <sub>4</sub>
TL50 (dose 1)	< 2 jrs	6,2 jrs	6 jrs	5,3 jrs	4,4 jrs	3,8 jrs
Perte de poids des L5 (dose 3)	oui	non	non	non	++	+
Taille des ovocytes de base (dose 3)	oui	non	non	non	-	--
Résorption ovocytaire (dose 3)	oui	non	non	non	+	++

Cette activité insecticide a été également décrite sur des larves d'un anophèle *Anopheles culicifacies*, vecteur de la malaria en Inde (Gupta et Vyas, 1989) et sur des adultes de *Drosophila melanogaster* (Lazare *et al.*, 1996). Ces derniers auteurs n'ont cependant pas observé d'effet toxique avec les filtrats de cette même bactérie et suggèrent en conséquence l'implication d'une septicémie plutôt que d'une toxémie.

Un des avantages de *B. subtilis* est que ce bacille est peu pathogène pour l'homme et les mammifères et que c'est une bactérie du sol résistante, donc facile à manipuler. Cependant, il

est nécessaire dans un premier temps de trouver et tester des souches efficaces par ingestion puis de mieux comprendre leur mode d'action dans un deuxième temps.

#### 1-2- Effet de l'injection des *B. t* toxines chez les larves

Il est établi depuis longtemps que les toxines de *B. thuringiensis*, après leur ingestion, ont une spécificité selon l'insecte cible, qui s'exerce sur la membrane apicale de l'épithélium de l'intestin moyen. Cependant, dès 1967, Lecadet et Martouret ont noté un effet toxique de cristaux de *B. thuringiensis* injectés dans l'hémolymphe de *Pieris brassicae*. Les travaux qui ont suivi se sont cependant concentrés sur la toxicité de *B. thuringiensis* après une prise orale. On ne sait que peu de choses sur d'autres cellules et organes cibles susceptibles d'être atteints par les toxines après injection.

Chez la larve de *Lymantria dispar*, Cry1C exerce un effet toxique à la suite de son injection dans l'hémolymphe, suggérant l'existence d'une cible autre que l'épithélium de l'intestin moyen (Cerstiaens *et al.*, 2001). Cette Cry-toxine inhibe la prise de nourriture et en conséquence la croissance de l'insecte. Elle pourrait agir par l'intermédiaire du système nerveux car elle a une toxicité sur des cultures de neurones de *L. dispar*. Par ailleurs, Butko *et al.* (1994) ont démontré, sous l'effet de Cry1C, une perturbation de l'activité de la membrane de vésicules de lipides dépourvus de récepteurs. Cerstiaens *et al.* (2001) ont constaté de plus un effet toxique net de Cry1C injecté dans la mouche à viande *Neobellieria bullata*. Cependant, selon les mêmes auteurs, aucune des toxines Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac et Cry1E n'a montré d'effet *in vivo* sur *L. dispar* lorsque l'administration était sous forme d'intubation ou d'injection.

Nos expériences montrent que comme chez *L. dispar* et *Neobellieria bullata*, seule la toxine Cry1C a un effet négatif sur la croissance des larves de *L. migratoria*. Il serait intéressant de tester si cet effet est imputable à une diminution de la prise de nourriture ce qui suggérerait que la cible de la Cry 1C est le système nerveux. Si par contre, la prise alimentaire n'est pas altérée, la cible serait plutôt l'intestin lui même comme chez les lépidoptères.

D'un point de vue pratique, la forme d'administration sur le terrain pour contrôler les populations de criquets pourrait se faire à notre sens de deux manières. La première alternative serait de répandre une formulation de biopesticides sous forme de spores sur le terrain. En effet, des chercheurs espagnols ont effectué un criblage de 109 souches, issues de la Péninsule Ibérique et des îles Canaries, dont la très grande majorité appartient à la sous-espèce *kurstaki*. Parmi celles-ci, 3 se sont révélées efficaces par voie orale contre le seul Acrididae étudié c'est-à-dire *Dociostaurus maroccanus* (Quesada-Moraga *et al.*, 2004). Il serait intéressant d'approfondir cet aspect par l'étude des Cry-toxines de ces mêmes souches et de comparer leurs effets sur différents Acrididae, dont *Locusta migratoria*. Song *et al.* (2005) ont quant à eux comparé l'activité toxique de 600 souches isolées à partir du sol et d'insectes morts, en Chine. Ils ont pu détecter 3 souches dotées d'une grande efficacité contre *L. migratoria manilensis* (plus de 70 % de mortalité).

La deuxième alternative serait d'utiliser des outils biotechnologiques, c'est-à-dire en cultivant des plantes transgéniques contenant la Cry1C-toxine. Dans la mesure où l'administration par injection ne semble pas avoir d'effet, il ne nous paraît pas opportun d'administrer cette toxine par la voie d'une piqûre d'un autre insecte ou acariens par exemple qui ne serait pas sensible mais qui transmettrait cette toxine par la salive.

#### 2- Effets des peptides

L'utilisation de peptides en tant qu'insecticides potentiels nécessite une série de conditions sur lesquelles De Loof (1996) a mis l'accent. Le peptide doit être facile à synthétiser par des

méthodes de biotechnologie, être de petite taille pour passer à travers l'épithélium intestinal, avoir peu de sites de clivage pour les endoprotéases et enfin avoir une activité perturbatrice pour la physiologie de l'insecte. Cela peut concerner l'activité des enzymes digestives, l'absorption intestinale, ou la régulation des hormones intervenant dans la reproduction, le métabolisme énergétique et hydrominéral. C'est dans ce contexte que nous avons étudié les effets gonadotropes de neuropeptides F (*Led*-NPF-1 et *Led*-NPF-2) extraits du doryphore *Leptinotarsa decemlineata*.

Nous avons montré clairement l'effet stimulant *in vivo* de *Led*-NPF-1 sur le développement ovarien de *L. migratoria* (Cerstiaens *et al.*, 1999). Une dose minimale de 0,05 µg par individu, injectée toutes les 12 h chez une femelle adulte âgée de 6 jours, pendant 2,5 jours, est nécessaire pour obtenir un effet significatif sur la croissance ovarienne (fig. 69). Une dose plus forte de 0,5 µg s'est révélée être plus puissante, cependant qu'une plus faible dose de 0,005 µg n'avait pas d'effet. *Led*-NPF-2, bien que partageant les mêmes acides aminés dans la partie C-terminale que *Led*-NPF-1, n'a aucun effet gonadotrope. Cela signifie que l'activité biologique de ce peptide dépend d'un domaine particulier de la séquence peptidique.

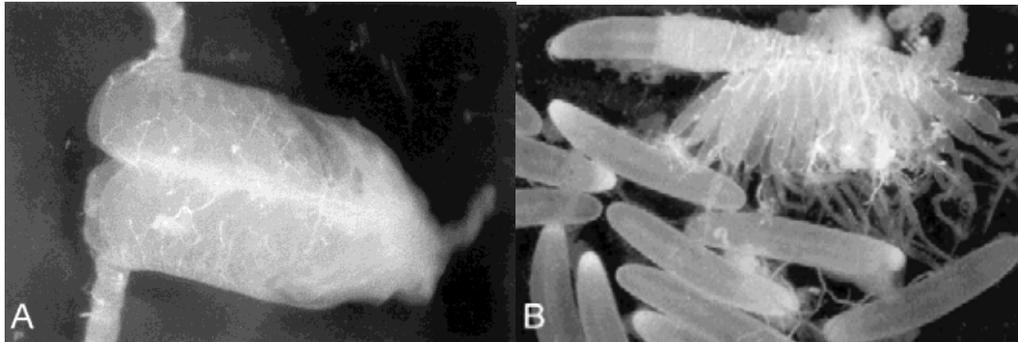


Figure 69. Ovaires disséqués de *L. migratoria* adultes âgés de 11 jours, traités dès le premier jour de leur vie imaginaire avec une injection journalière pendant une période de 10 jours.  
A: Ovocytes primaires vitellogéniques des individus témoins, traités avec 10 µl d'une solution de Ringer.  
B: Oeufs arrivés à maturité chez des individus traités avec une dose journalière de 0,05 µg de *Led*-NPF-1 dans 10 µl de Ringer. On note que les ovocytes secondaires sont déjà vitellogéniques, cependant que quelques oeufs sont encore stockés dans le calice.

A notre connaissance, *Led*-NPF-1 est le premier peptide connu à favoriser le développement de l'avant-dernier ovocyte avant que l'ovocyte terminal ne soit chorioné et expulsé. Les individus traités montrent de manière inattendue une vitellogenèse précoce dans ces avant-derniers ovocytes, alors que jamais les individus témoins n'ont de chevauchement dans les cycles gonadotropes. En effet, les follicules terminaux des femelles témoins entrent en vitellogenèse seulement après l'ovulation des ovocytes terminaux. L'action gonadotrope du *Led*-NPF-1 sur la croissance des ovocytes est en fait une perturbation de l'ovogenèse.

D'autres travaux conduits sur *Schistocerca gregaria* avec le neuropeptide F Scg-NPF extrait du cerveau (Tyr-Ser-Gln-Val-Ala-Arg-Pro-Arg-Phe-NH<sub>2</sub>) ont montré également un effet de gonado-stimuline chez les femelles. Les expériences d'électrophorèse SDS-PAGE démontrent que ce peptide augmente la concentration en vitellogénine dans l'hémolymphe de *S. gregaria* (Schoofs *et al.*, 2001). Les bandes de vitellogénine sont plus clairement visibles chez les individus traités que chez les témoins (fig. 70).

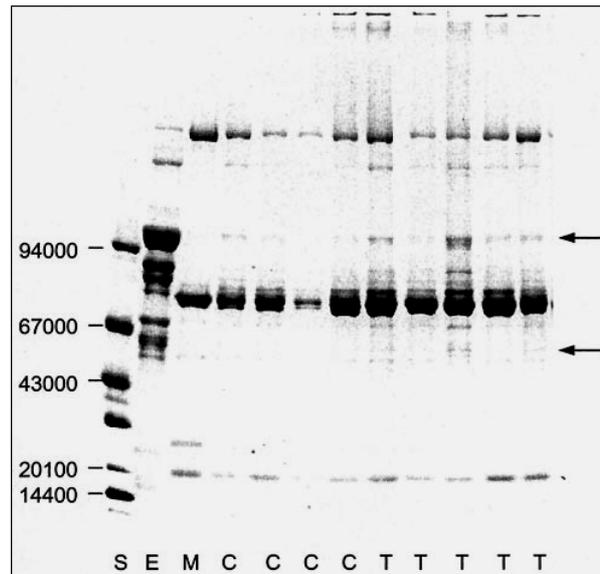


Figure 70. Révélation des protéines hémolympatiques au bleu de Coomassie chez *S. gregaria*, après séparation par électrophorèse en SDS-PAGE (Schoofs *et al.*, 2001). Les flèches indiquent les bandes de vitellogénine. C : témoins traités avec une solution salée; T: individus traités avec Scg-NPF; S: standard de poids moléculaire; E: œuf blanc (témoin positif); M: hémolymphe de mâle (témoin négatif).

Le *Led*-NPF 1 a un effet gonadotrope mais son mode d'action est encore inconnu. Ainsi, à la fois l'hormone juvénile et l'ecdysone sont indispensables pour l'incorporation de la vitellogénine chez les locustes (De Loof et Huybrechts, 1999). L'effet du *Led*-NPF-1 pourrait être indirect, en stimulant soit la synthèse de l'ecdysone, soit la production d'hormone juvénile, soit une combinaison des deux. Ce peptide pourrait également avoir un effet gonadotrope direct sur l'ovaire. Des expériences complémentaires sont nécessaires pour élucider si le peptide a une action directe ou indirecte.

D'autre part, il est possible que *Led*-NPF agisse comme un facteur de libération de la parsine *Lom*-OMP (Ovary Maturing Parsin) à partir des corpora cardiaca. La *Lom*-OMP est une ecdysiotropine qui stimule la croissance des ovocytes et l'apparition précoce de vitellogénine circulante à travers 2 domaines hydrophiles distincts (Girardie et Girardie, 1996 ; Girardie *et al.*, 1996). Elle ne semble pas agir directement sur le corps gras pour induire la synthèse de vitellogénine comme le fait l'hormone juvénile mais a un effet de stimulation de l'ecdysone sur l'ovaire. Les études immunocytochimiques ont démontré que les axones terminaux dans la partie nerveuse des corpora cardiaca ont une réactivité FMRFamide, dont une part pourrait être due au(x) NPF type peptide(s) (Rémy *et al.*, 1988 ; Schoofs *et al.*, 1998).

En conclusion, les études que nous avons menées sur ce peptide participent à une meilleure connaissance du fonctionnement ovarien. Il est encore prématuré d'affirmer que celui-ci sera utilisé pour la lutte contre les locustes ravageuses. L'avenir de cette démarche passe certainement par une connaissance très fine des mécanismes intervenant dans le fonctionnement des ovaires de ces insectes.

Si les approches biochimiques et microbiologiques que nous venons de décrire ont un potentiel d'utilisation dans le futur, nos résultats obtenus sur le terrain ont une application pratique immédiate pour la lutte contre *L. migratoria*, puisqu'un simple désherbage des champs limitera les effectifs des populations, rejoignant ainsi les préconisations de Remaudière (1954) et Têtefort et Wintrebert (1963). Dans la mesure où la valeur nutritive du blé est nettement inférieure à celle du sorgho, ce désherbage devra concerner en priorité les cultures céréalières de blé.

## CONCLUSIONS et PERSPECTIVES

En Algérie, les populations solitaires du criquet migrateur ont toujours été considérées comme essentiellement sédentaires, évoluant dans des microhabitats. Chopard (1943) mentionne *Locusta migratoria* dans les cultures et les endroits arides. En effet, cet acridien est souvent rencontré à l'état isolé en zones oasiennes sur de petites superficies cultivées (inventaires de l'orthoptérofaune en Algérie de 1989 à 2003). Ces populations très dispersées ne présentaient donc pas un intérêt d'étude prioritaire jusqu'à leurs signalisations en densités plus ou moins élevées avec l'expansion des périmètres de mise en valeur dans le Sahara Central et les régions limitrophes (Ouargla et Ghardaïa au Nord Est, Béchar à l'Ouest et Tamanrasset au Sud). Le même phénomène s'est produit dans le désert de Lybie avec l'expansion des irrigations sous pivots dans les années 1980. Selon les observations de Launois, le criquet incriminé semblait être *L. migratoria migratorioides* (Benfekih *et al.*, 2002).

Dans le Sahara algérien, l'un des facteurs limitants pour le développement des Acridiens s'avère être l'eau. Le développement de l'agriculture saharienne avec l'intensification des périmètres de mise en valeur en irrigué, à partir des années 1980, a entraîné de profondes modifications du peuplement acridien. Près de 400 pivots englobant plus de 200 000 ha de céréales ont été mis en place (Ould El Hadj, 2002), notamment dans la wilaya d'Adrar, induisant la colonisation de ces biotopes favorables de création récente, par le criquet migrateur. Des pullulations sont observées surtout, dans les zones de mise en valeur de Stah azzî, de Baamor, de Tsabit et Aougrou. Ce sont les céréales d'hiver et les maraîchages qui constituent les principales cultures où l'on rencontre cette locuste en début de campagne vers la 2<sup>ème</sup> quinzaine de février. Nos résultats nous renseignent que la présence des pivots dans les régions étudiées entraîne l'apparition d'un ensemble de biotopes constituant une zone de reproduction de solitaires et de transiens de *L. migratoria cinerascens*.

Nous avons remarqué que la densité imaginaire de cette sous espèce est liée à la latitude : les populations sont d'autant plus denses que l'on va vers le sud (localités de Zaouiet Kounta et In Zegmir). Ces populations n'étaient pas des formes grégaires ni par leurs données biométriques ni par leur coloration. Selon nos observations de 1995 à 1997, l'activité du criquet migrateur était strictement corrélée à l'abondance des mauvaises herbes dans les cultures (Benfekih *et al.*, 2002). Les densités des populations augmentent jusqu'à ce que les graminées adventices représentent près de 20 % du recouvrement végétal global.

L'analyse des archives de l'INPV et de nos travaux personnels nous a permis de relever certains points originaux sur la biologie de *L. migratoria cinerascens*. En milieux anthropisés céréaliers, nous suggérons que le cycle de cet acridien présenterait une succession de trois générations : une première génération printanière se développant sur les blés jusqu'aux moissons, une deuxième génération printano-estivale se trouvant au niveau de maraîchages avoisinant les chaumes de blés ou dans des pivots de sorghos en début de développement, et une troisième génération estivo-automnale évoluant uniquement sur les céréales d'été et qui serait hivernante pendant la mauvaise saison. Il semblerait, conformément à ce qui a été constaté en Turquie (Deveci, 1996) que la génération automnale de cette même sous-espèce passe l'hiver à l'état d'adultes diapausants et/ou à l'état d'œufs. Il conviendrait donc d'étudier les individus adultes de cette génération dans les conditions de terrain à travers le Sahara, en particulier l'activité génésique des femelles ainsi que les milieux où ils sont susceptibles de diapaiser pendant la période hivernale.

Nos observations sur les variations temporelles du sexe-ratio dans les trois générations montrent initialement une protandrie dominante seulement pour la génération printanière de *L. m. cinerascens*, évoluant sur les céréales d'hiver, qui progresse ensuite vers un sexe-ratio en faveur des femelles. Nous avons déduit par des expériences de croissance au laboratoire

que ce sexe-ratio n'est pas lié à des contraintes nutritionnelles, du moins chez les derniers individus de cette génération. En revanche, l'influence de conditions photo-thermopériodiques serait davantage plausible. Des élevages au laboratoire, dans différentes conditions contrôlées de température et d'éclairage, suivis par des observations du sexe-ratio et de la survie des mâles et des femelles, pourraient conforter notre hypothèse.

Une compilation synthétique de travaux sur l'orthoptérofaune dans le nord algérien ne nous donne qu'une idée imprécise des périodes de présence de *L. m. cinerascens*, puisque les individus sont signalés de manière accidentelle. Grâce aux collections du criquet migrateur de l'INA, nous savons que la génération automnale est bien représentée. Comme les conditions éco-climatiques sont différentes de celles des zones oasiennes, il s'agit dans le nord beaucoup plus de milieux naturels que des milieux anthropisés. Il serait très judicieux de rechercher la présence simultanée des larves et des adultes dans différents milieux du nord algérien pour décrire le nombre de générations ainsi que leur évolution au cours de la saison printano-estivale.

L'étude de l'alimentation des individus solitaires nous a montré qu'il y a une proportionnalité entre la disponibilité des espèces de Poaceae sur le terrain et leur consommation effective par les larves âgées et les adultes. Nous avons mis en évidence les degrés de préférence ou d'évitement des différentes espèces graminéennes au niveau des périmètres irrigués. Ces degrés peuvent être dus à des besoins nutritifs propres à chaque stade biologique, à une préférence envers un stade phénologique précis de la plante ou encore à la qualité nutritionnelle de la graminée elle-même tant par la teneur en acides aminés appréciés que par la teneur et la variabilité en substances répulsives. Nous avons de ce fait souligné que les blés durs cultivés très peu enherbés au niveau des pivots sont peu appétants à cause de leur faible qualité nutritive. Nos expériences réalisées au laboratoire nous ont permis de confirmer que cette source alimentaire entraîne des carences dans le développement et a un impact sur la longévité des adultes, comparée aux sorghos seuls ou en mélange avec d'autres adventices, qui sont plutôt favorables. Nous avons trouvé cependant que la consommation du blé varie selon le degré de recouvrement par les graminées spontanées sur le terrain.

Notre approche par une méthode originale de morphométrie géométrique, pour la mesure du stress de développement au niveau des graminées cultivées en irrigué, nous a permis également de confirmer l'effet nutritif défavorable des blés.

L'originalité de ces résultats sur l'alimentation de *L. m. cinerascens* dans les périmètres irrigués, mérite cependant d'être approfondie par des études complémentaires à savoir :

- L'application de la méthode d'étude de l'asymétrie fluctuante aux individus solitaires, *transiens* et grégaires ayant évolué sur différents milieux.
- La compréhension des particularités alimentaires des L5 en déterminant s'il s'agit d'un comportement spécifique ou le résultat d'une compétition avec les L4 et les adultes.
- Il serait intéressant d'effectuer des dosages des acides aminés majoritaires chez les graminées présentes sur le terrain en tenant compte de leur état phénologique. Notre hypothèse que la lysine soit appréciée dans *Lolium multiflorum* et *Sorghum vulgare* par rapport à *Triticum durum*, mérite d'être étudiée au laboratoire, afin de mieux comprendre les carences sur le développement induite par les blés. Il serait également très utile d'envisager l'influence de différentes espèces de sorgho, étant donné que chaque variété cultivée ne semble pas être attaquée de la même façon. Les teneurs en substances répulsives sont en effet très variables d'une espèce de sorgho à une autre comme l'ont constaté de nombreux auteurs.

- Enfin, on ne pourrait écarter l'étude de l'influence des graminées cultivées dans les périmètres irrigués qu'elles soient peu ou très enherbées, sur la fécondité du criquet migrateur. Différents paramètres tels que la précocité des pontes, le nombre d'œufs à chaque ponte et les délais inter pontes méritent plus de précision pour la compréhension des reproductions optimales sur le terrain et intervenir en matière de lutte préventive.

Malgré sa faible grégariaptitude (Chopard, 1943), la sous-espèce *cinerascens* est susceptible de pulluler en milieux anthropisés, comme nous l'avons vu dans les populations d'Adrar. Or, l'irrégularité des densités dans les trois générations semble selon nos observations empêcher la transition vers l'état grégaire et ainsi les départs des populations vers d'autres milieux colonisables. En conséquence, ces populations restent bien confinées aux zones des cultures sous pivots. Il est donc primordial d'entreprendre un désherbage systématique sur les céréales d'hiver, notamment les blés durs pour diminuer les effectifs des populations printanières et enrayer les chances d'apparition de la génération printano-estivale susceptible d'engendrer des dégâts sur les céréales d'été et les maraîchages.

Des recherches récentes se sont concentrées sur la mise au point d'insecticides biologiques pour protéger les cultures céréalières contre les dommages causés par certaines espèces d'insectes, comme les criquets. Les travaux que nous avons menés sur des méthodes de lutte alternative contre *L. migratoria* ont montré que l'utilisation d'outils microbiologiques et biotechnologiques paraît encourageante. Un des aspects intéressants de nos résultats est que certaines souches de *Bacillus subtilis* étudiées perturbent le métabolisme de *L. migratoria*. Il est cependant nécessaire d'étudier l'effet d'autres souches par ingestion de spores puis de comprendre le mode d'action de la bactérie. Par ailleurs, des études très récentes ont montré que l'utilisation du *B. thuringiensis* en tant que bio-insecticide sur les criquets offre des perspectives également prometteuses (Renz et Guo, 2002, Quesada-Moraga *et al.*, 2004). Des progrès restent à faire dans la sélection de souches pathogènes anti-acridiennes de *B.t.*, si possible spécifiques à *Locusta*, en particulier avec l'ingestion de spores. Cela nécessite l'étude des mécanismes de la spécificité d'action des toxines de cette bactérie, notamment sur des récepteurs intestinaux.

Par ailleurs, les neuropeptides F que nous avons testé nous ont renseigné également sur leur effet perturbateur du métabolisme, surtout dans le fonctionnement ovarien. En terme de lutte, il conviendrait de cibler les peptides les plus intéressants, les isoler et les identifier. Ce moyen de lutte ne pourrait être opérationnel qu'à long terme en administrant les peptides sélectionnés à travers des plantes transgéniques.

Enfin nous voudrions mettre l'accent sur le rôle des acridiens en tant qu'indicateurs de la biodiversité dans les milieux ouverts, en particulier pour les espèces ravageuses comme *Locusta migratoria*. Il nous semble important de songer à développer des outils par des approches de biomodélisation qui permettraient d'évaluer la sensibilité des espèces aux changements globaux en zone méditerranéenne, dans le Maghreb et en particulier en Algérie. L'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) et de paramètres climatiques de périodes anciennes et récentes nous permettraient de ce fait de comprendre l'impact des changements climatiques sur la distribution potentielle de toutes les espèces (*L. migratoria* et acridofaune associée). Les positions, l'amplitude et la taille de l'aire de répartition de niches des espèces sont en effet de bons indicateurs de leur sensibilité aux changements climatiques. Les modèles bioclimatiques aideraient à déduire et prédire en outre les variations de distribution en cas de sécheresse ou autre perturbation.

## BIBLIOGRAPHIE

- **ABDESSEMED K.H.**, 1984- Les relations climat-végétation dans le sud Constantinois. Bull. Soc. Bot. Fr., 131, Actual. Bot., (2/3/4) : 145-155.
- **ACHEUK F.**, 2000- Effet de quelques substrats alimentaires sur quelques paramètres de la biologie et de la reproduction de *L. migratoria* (Orth. Oedipodinae). Etude de l'efficacité de deux insecticides de synthèse : Dursban et Décis au laboratoire, et des perturbations histopathologiques du tube digestif. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 206 pp.
- **AGOUMI A.**, 2004- Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques : Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre. Projet PNUD-FEM RAB94G31, 2000-2001, 10 pp.
- **ALBRECHT, F.O.**, 1967- Polymorphisme phasaire et biologie des acridiens migrateurs. Collection GPB Masson et Cie, Paris, 194 pp.
- **ALBRECHT F.O.** et **LAUGA J.**, 1978- Influence du photopériodisme et de la température d'élevage sur la morphologie et la phase de *Locusta migratoria migratorioides* (R. et F.) (Orthoptères, Acridiens) Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences D286 : 1799-1801.
- **AMMAR M., BARBOUCHE N.** et **BEN HAMOUDA M.H.**, 1995- Action des extraits de composés des feuilles de *Cestrum parquii* et de *Olea europaea* sur la longévité et la croissance du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775). Med. Fac. Landbouww., Univ. Gent, 60 (30a) : 831-836.
- **ANDRIANASOLO, J.A.**, 1972- Evolution des populations de *Gastrimargus africanus* Sauss. et *Cyrtacanthacris tatarica tatarica* L. sur le plateau de Betioky (Madagascar). Annales de zoologie – Ecologie animale H.S. : 159-188.
- **ANONYME**, 1982- Schéma directeur d'aménagements touristiques des Wilayas du sud. Ministère du tourisme, Institut National des études touristiques, Alger, 96 pp.
- **ANONYME**, 1990- Plan de développement et d'aménagement de la Wilaya d'Adrar. Cent. Nat. Etu. Ana., Alger, 288 pp.
- **ANONYME**, 1995- Plan de développement et d'aménagement de la Wilaya de Ouargla. Sous direction de la planification et de l'aménagement du territoire, direction des services agricoles de Ouargla, 90 pp.
- **APPERT J.** et **DEUSE J.**, 1982- Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. Ed. Maison Neuve et Larose, Paris, 419 pp.
- **BACCETTI B.**, 1963- Notulae orthopterologicae. XVIII. Osservazioni sugli Ortoteri del Gennargentu. Atti Accad. naz. ital. Ent. Rc. 2 : 10.
- **BAGNOULS F.** et **GAUSSEN H.**, 1953- Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 88 : 193-239.
- **BAKHOUCHE C.**, 1993- Contribution à l'étude bioécologique des Acrididae (Orth.) de la région de Kasserou (Parc National de Belezma, Batna). Thèse Ing., Univ. Batna.
- **BALACHOWSKY A.** et **MESNIL L.**, 1936- Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, leur destruction. Ed. Etablissement Busson, T. II, vol. III, Paris : 1141-1921.
- **BARBIER Y.** et **RASMONT P.**, 2000. Data Fauna Flora. Université de Mons, Hainault.
- **BARRY J.P.** et **CELLES J.C.**, 1972-1973- Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien. Naturalia Monspeliensia, sér. Bot., 23-24 : 5-48.
- **BARRY J.P., CELLES J.C.** et **MANIERE R.**, 1976- Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien. Note II. Le Sahara central et le Sahara méridional. Naturalia Monspeliensia, sér. Bot. 26 : 211-242.
- **BATTEN A.**, 1966- The course of the last major plague of the African Migratory Locust, 1928 to 1941. Pl. Prot. Bull. F.A.O. 14 : 1-16.
- **BEGGAS Y.**, 1992- Contribution à l'étude bioécologique des peuplements orthoptérologiques dans la région d'El Oued. Régime alimentaire d'*Ochrilidia tibialis* (Krauss, 1902). Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **BELHADJ H.** et **NOUASRI H.**, 1995- Contribution à l'étude bioécologique des orthoptères de la région de Bordj El Kiffan (Alger). Thèse Ing, Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **BELLMANN H.** et **LUQUET G.**, 1993- Guide des Sauterelles, Grillons et Criquets d'Europe Occidentale. Ed. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 383 pp.
- **BELLOULA L.**, 1990- Etude préliminaire des orthoptères de la région de Aïn Yagout (Batna). Thèse Ing. Univ. Sci. et Tech. Saad Dahleb, Blida.
- **BENABADJI N.** et **BOUAZZA M.**, 2000- Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso. Dans l'Oranie (Algérie occidentale). Sciences et changements planétaires/sécheresse 11(2) : 117-123.
- **BEN HAMOUDA M.H.**, 1994- Recherches sur l'effet des extraits de plantes sur l'alimentation et le développement du criquet pèlerin : perspectives et développement. Atelier international FAO sur la recherche et la planification de la lutte contre le criquet pèlerin. ED. FAO., Rome, 1-10.

- **BENFEKIH L.** et **DOUMANDJI-MITICHE B.**, 1996- Sur l'importance de la sauterelle marocaine *D. maroccanus* Thunb. au sein d'une population d'Orthoptères de deux milieux anthropisés à Ain Boucif (Médéa, Algérie). Med. Faculteit Landbouww. Université de Gand, 61/3a : 753-759.
- **BENFEKIH L.**, **CHARA B.** et **DOUMANDJI-MITICHE B.**, 2002- Influence of anthropogenic impact on the habitats and swarming risks of *Dociostaurus maroccanus* and *Locusta migratoria* (Orthoptera, Acrididae) in the Algerian Sahara and the semiarid zone. Journal of Orthoptera Research 11(2) : 243-250.
- **BENHALIMA T.**, **GILLON Y.** et **LOUVEAUX A.**, 1984- Utilisation des ressources trophiques par *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Orthop. Acrididae). Choix des espèces en fonction de leur valeur nutritive. Acta. Oecol., Gener. 5(4) : 363-406.
- **BENHALIMA T.**, 1983- Etude expérimentale de la niche trophique de *Dociostaurus maroccanus* (Thunb., 1936) en phase solitaire au Maroc. Thèse Doc. Ing. Univ. Paris-sud, 178 pp.
- **BENICHOU-REDOUANE K.** et **FUZEAU-BRAESCH S.**, 1982- Comparaison des taux d'octopamine chez *Locusta migratoria cinerascens* grégaire, solitaire et solitarisé au gaz carbonique, dans différents organes nerveux. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 294, série III, 385-388.
- **BENRIMA A.**, 1993- Bioécologie et étude du régime alimentaire des espèces d'orthoptères dans deux stations d'étude situées en Mitidja. Etude histologique et anatomique du tube digestif de *Dociostaurus jagoi jagoi* (Soltani, 1978). Thèse Magister, Inst. Nat. Agro. (El Harrach). pp : 42-52.
- **BERNAYS, E.A.** et **CHAPMAN R.F.**, 1970- Experiments to determine the basis of food selection by *Chorthippus parallelus* (Zetterstedt) (Orthoptera : Acrididae) in the field. Journal of Animal Ecology 39 : 761-776.
- **BERNAYS, E.A.** et **CHAPMAN R.F.**, 1994- Host-plant selection by phytophagous insect. Ed. Chapman & Hall, New York-London, 312 pp.
- **BETHOUX O.** et **NEL A.**, 2001- Venation pattern of Orthoptera. Journal of Orthoptera Research 10: 195-198.
- **BETHOUX O.** et **NEL A.**, 2002- Venation pattern and revision of Orthoptera sensu nov. and sister groups. Phylogeny of Palaeozoic and Mesozoic Orthoptera sensu nov. Zootaxa 96 : 1-88.
- **BONNET E.** et **FINOT A.** 1885- Les Orthoptères de la régence de Tunis. [Catalogue raisonné des Orthoptères de la régence de Tunis]. Revue des Sciences Naturelles, Montpellier (3) 4 : 193-232, 333-465, pls 1-3.
- **BOPPRÉ M.**, **SEIBT U.** et **WICKLER W.**, 1984- Pharmacophagy in grasshoppers ? Entomol. Exp. Appl. 35: 115-117.
- **BOPPRÉ M.** et **FISHER O.W.**, 1994- *Zonocerus* and *Chromalaena* in West Africa. A chemoeological approach towards pest management : 107-126. In: Krall S., Willps H. (eds). New trends in locust control. GTZ, Eshborn.
- **BOUKHAMZA M.**, 1990- Contribution à l'étude de l'avifaune de la région de Timimoun (Gourara) : Inventaire et données bioécologiques. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 117 p.
- **BOUKHAMZA M.**, 2000- Etude bioécologique de la cigogne blanche (*Ciconia ciconia* L., 1775) et du héron garde bœufs (*Bubulcus ibis* L., 1758) en Kabylie. Analyse démographique, éthologique et essai d'interprétation des stratégies trophiques. Thèse Doctorat d'Etat, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 189 pp.
- **BOUKROUT-BENTAMER N.**, 1998 - Disponibilités en ressources entomologiques et modalité de leur utilisation par deux échassiers, la cigogne blanche *Ciconia ciconia* (Linné, 1758) (Aves, Ciconiidae) et le héron garde bœufs (Linné, 1758) (Aves, Ardeidae) dans la vallée du Sébaou (Kabylie, Algérie). Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 231 pp.
- **BOURAHLA E.B.**, 1990- Comparaison de la faune orthoptérologique entre quelques stations de Soumâa et Chréa (Atlas Blidéen, Algérie). Thèse Ing. Univ. Sci. et Tech. Saad Dahleb, Blida.
- **BRAHMI K.**, 2001- Contribution à l'étude systématique et quelques aspects écologiques des Orthoptéroïdes dans la région de l'Akfadou (Bouzuène, Tizi ouzou). Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp : 11-89.
- **BRIKI Y.**, 1991- Contribution à l'étude bioécologique des orthoptères dans trois types de stations de la région de Dellys. Thèse Ing, Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp : 24-59.
- **BUTET A.**, 1985- Méthode d'étude du régime alimentaire d'un rongeur polyphage *Apodemus sylvaticus* (L., 1758) par l'analyse microscopique des fèces. Mammalia 49(4) : 445-479.
- **BUTKO P.**, **COURNOYER M.**, **PUSZTAI-CAREY M.** et **SUREWICZ W. K.** 1994- Membrane interactions and surface hydrofobicity of *Bacillus thuringiensis* d-endotoxin Cry1C. FEBS Letters 340 : 89-92.
- **CADI M.**, 2001- SIG et zonage agro-écologique pour l'identification des zones arides. Application au Nord Algérien. Sémin. Nation. Sur la problématique de l'Agriculture des zones arides et de la reconversion (Sidi Bel Abbès) : 36-49.
- **CASSIER P.**, 1968- Détermination de la période photosensible chez le criquet migrateur africain, *Locusta migratoria migratorioides* (R. et F.) phase grégaire. Insectes sociaux 15 : 3-30.
- **CERSTIAENS A.**, **BENFEKIH L.**, **ZOUITEN H.**, **VERHAERT P.**, **DE LOFF A.** et **SCHOofs L.**, 1999- Led-NPF-1 stimulates ovarian development in Locusts. Peptides 20 : 39-44.

- **CERSTIAENS A., VERLEYEN P., VAN RIE J, VAN KERKHOVE E., SCHWARTZ .L. et SCHOOF L.**, 2001- Effect of *Bacillus thuringiensis* Cry1 Toxins in Insect Hemolymph and Their Neurotoxicity in Brain Cells of *Lymantria dispar*. Applied and Environmental Microbiology 67(9) : 3923–3927.
- **CHABOUSSOU F., REMAUDIERE G., ROERICH R. et VERDIER M.**, 1947- Evolution de l'invasion du criquet migrateur (*L. migratoria* L.) dans les Landes de Gascogne en 1946. C.R. Ac. Agric. Fr. 33 : 341-345.
- **CHABOUSSOU F., ROERICH R. et PONS R.**, 1948- L'invasion du criquet migrateur (*L. migratoria* L.) dans les Landes de Gascogne en 1947. C.R. Ac. Agric. Fr. 34 : 170-174.
- **CHAPMAN R.F. et JOERN A.**, 1990- Biology of grasshoppers. John Wiley & Sons ed. , New York. 563 pp.
- **CHAPUIS M.-P, LOISEAU A., MICHALAKIS Y., LECOQ M. et ESTOUP A.**, 2005- Characterization and PCR multiplexing of polymorphic microsatellite loci for the locust *Locusta migratoria*. Molecular Ecology Notes 5 : 554–557.
- **CHARA B., 1987-** Etude comparée de la bioécologie de *Calliptamus barbarus* (Costa, 1836) et de *Calliptamus wattenwyllianus* (Plentel, 1896) (Orthoptera, Acrididae) dans l'ouest algérien. Thèse Doc. Ing. Univ. Aix-Marseille, 190 pp.
- **CHARA B., BIGOT C. et LOISEL R.**, 1986- Contribution à l'étude du régime alimentaire de *Omocestus ventralis* (Zetterstedt, 1821) (Orthop. Acrididae) dans les conditions naturelles. Rev. Biol. Med. 12(3-4) : 16-31.
- **CHAUMONT M. et PAQUIN C.**, 1971- Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algérie septentrionale. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 24 pp + cartes 1/500 000.
- **CHAURASIA B., PANDEYA A., PALNIB L.M.S., TRIVEDIA P., KUMARA, B. et COLVINC N.**, 2005- Diffusible and volatile compounds produced by an antagonistic *Bacillus subtilis* strain cause structural deformations in pathogenic fungi in vitro. Microbiological Research 160 : 75-81.
- **CHOPARD L.**, 1932- Sur la présence du criquet migrateur (*Locusta migratoria* L.) en Normandie. Bulletin de la Société Entomologique de France 37 : 122-123; Paris.
- **CHOPARD L.**, 1943- Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord. Faune de l'empire français 1. Paris (Librairie Larose). 450 pp.
- **CHOPARD L.**, 1951- Faune de France 56. Orthoptéroïdes. 359 pp ; Paris (Office central de faunistique).
- **CLARKE G.M.**, 1992- Fluctuating asymmetry: a technique for measuring developmental stress of genetic and environmental origin. Acta Zool. Fennica 191 : 31-35.
- **CLARKE G.M.**, 1993- Patterns of developmental stability of *Chrysopa perla* L. (Neuroptera: Chrysopidae) in response to environmental pollution. Environmental Entomology 22 : 1362-1366.
- **CLOUTIER C. et CLOUTIER C.**, 1992- Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. In lutte biologique, pp : 20-21, Ed. Gaïtan Morin, Québec, 671 pp.
- **COPR** (Centre for overseas pest research) 1982- In: The Locust and grasshopper Agricultural manual. Centre for overseas pest research, London.
- **CONDON W. J. et GORDON R.**, 1977- Effects of the mermithid nematode *Mermis nigrescens* on the level of haemolymph and fecal uric acid in its host, the migratory locust *Locusta migratoria*. Canadian Journal of Zoology 55 : 690-692.
- **CORBEL J.C.**, 1964- Infestations expérimentales de *Locusta migratoria* L. (Insecte, Orthop.) par *Gregarina gamhami* Canning (Sporozoaire, Grégarinomorphe) : relation entre le cycle de l'hôte et celui du parasite; Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences B 259 (1) : 207-210.
- **COUILLAUD F., GIRARDIE A. et GIRARDIE J.**, 1989- Identification of gonadotropic and antigonadotropic factors from the nervous part of the corpora cardiaca in the African locust. Invert. Repr. Dev. 16 : 17–22.
- **COUTURIER A., REMAUDIERE G. et ARNOUX.**, 1946- Etat actuel de l'invasion du criquet migrateur (*L. migratoria* L.) dans les Landes de Gascogne. C.R. Ac. Agric. Fr. 32 : 226-231.
- **CUEVA DEL CASTILLO et NÚÑEZ-FARFÁN J.**, 1999- Sexual selection on emergence time and body size in *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae) : Correlated response to selection. Evolution 53(1) : 209-215.
- **CURRY W., SHAW C., JOHNSTON C.F., THIM L. et BUCHANAN K.D.**, 1992- Neuropeptide F: Primary structure from the Turbellarian *Arthioposthia triangulata*. Comp. Biochem. Physiol. 101C : 269-274.
- **DAGET P.**, 1977- Le bioclimat méditerranéen : analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. Vegetatio 34(2) : 87-103.
- **DAJOZ, R.**, 1970- Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 357 pp.
- **DAJOZ, R.**, 1983- Précis d'écologie fondamentale et appliquée. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 503 pp.
- **DAMERDJI A.**, 1996- Contribution à la répartition de la faune orthoptérologique (Caelifères, Ensifères) en Algérie. Bull. Zool. Agri., Inst. Nat. Agro. (El Harrach) 13 : 10-13.
- **DARNHOFFER T. et LAUNOIS M.**, 1975- L'optimum pluviométrique du croquet migrateur Malgache: principe et applications. PNUD (FS) MML/MET/9.

- **DAVEY J.T.**, 1959- The African Migratory Locust (*Locusta migratoria migratorioides* R. & F.) in the central Niger delta. Part 11. The ecology of *Locusta* in the semi-arid lands and seasonal movements of populations. *Locusta* 7 : 1-180.
- **DAVEY J.T.** et **JOHNSTON H.B.**, 1956- The African Migratory Locust in Nigeria. *Anti Locust Bulletin* 22 : 1-91; London.
- **DAVIDSON E.W.**, 1981- A review of the pathology of bacilli infecting mosquitoes including an ultrastructural study of larvae fed *Bacillus sphaericus* 1593 spores. *Develop. Industr. Microbiol.* 22 : 69-81.
- **DEFAUT B.**, 1999- Synopsis des Orthoptères de France. *Matériaux Entomocénétiques H.S.* : 34-35.
- **DEFAUT B.**, 2005- Sur la répartition de *Locusta migratoria migratoria* (L.) en France (Caelifera, Acrididae, Oedipodinae). *Matériaux Orthoptériques et Entomocénétiques* 10 : 81-86
- **DE LOOF A.**, 1996- Endogenous insect regulatory peptides : a novel lead towards insect control ? *Agro-food-Industry Hi-Tech nov/dec.* : 23-25.
- **DE LOOF A.** et **HUYBRECHTS R.**, 1999- Insects do not have sex hormones: a myth ? *Gen Comp Endocrinol.* 111:245- 60.
- **DEMANGEOT J.**, 1981- Les milieux naturels désertiques. Ed. Cent. Doc. Univ., Paris, 261 pp.
- **DESCAMPS M.**, 1962- Etude écologique du criquet Migrateur Africain (*Locusta migratoria migratorioides* R. & F.) en 1959 dans la partie méridionale de son aire de grégarisation sur le Niger (vallée inférieure du Bani). *Rev. Pathol. Vég. Entomol. agric. Fr.* 41 : 133-297.
- **DEVECI O.**, 1996- Observations on diapause of *Locusta migratoria cinerascens* (Fab.) (Orthoptera: Acrididae) in the Menemen-Izmir Plain population. *Turkish Journal of Zoology* 20(3): 255-259.
- **DIRSH V.M.** et **DESCAMPS M.**, 1968- Insectes Orthoptères Acridoidea. *Faune de Madagascar*, Paris, 26 : 312 pp.
- **DJELLOULI Y.**, 1990- Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct. Sciences, USTHB., Alger, 210 pp.
- **DORN A.**, **WIESEL G.** et **SHNEIDER M.**, 1994- Juvenile hormone analogues in locust control. In *new trends in locust control*, 91-106, ed. Skrall. H. Wilps, Eschborn, Germany, 182 pp.
- **DOUADI B.**, 1992- Bioécologie des peuplements orthoptérologiques dans la région de Guerara (Ghardaïa). Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **DOUMANDJI S.**, **DOUMANDJI-MITICHE B.**, **BENZARA A.** et **TARAÏ N.**, 1993- Méthode de la fenêtre proposée pour quantifier la prise de nourriture par les criquets. *L'Entomologiste* 49(5) : 21.
- **DOUMANDJI S.** et **DOUMANDJI-MITICHE B.**, 1994- Criquets et sauterelles (Acridologie). Ed. Off. Pub. Univ., Alger, 99 pp.
- **DOUMBAL L.**, 1994- Les effets de *Melia azedarach* sur les larves du criquet pèlerin *S. gregaria* (Forsk., 1775). *Rev. Sahel. PV. Info.* 60 : 2-10.
- **DRIAS A.**, 1994- Rapport sur la situation acridienne dans la wilaya d'Adrar. Mois de juin 1994. Rapport de mission de prospection antiacridienne. Ministère de l'Agriculture, INPV, n°76/94, 5 pp.
- **DUBIEF J.**, 1959- Le climat du Sahara. *Mém. Inst. Rech. Sahar.*, Algérie 1 : 312 pp.
- **DUBIEF J.**, 1963- Le climat du Sahara. *Mém. Inst. Rech. Sahar.*, Algérie 2 : 275 pp.
- **DUBIEF J.**, 1971- Die Sahara, eine Klima-Wüste. H. Shiffers, éd., Die Sahara und ihre Randgebiete, I. *Physiogeographie.* Pp : 227-348.
- **DUHART F.** et **DESCAMPS M.**, 1963- Notes sur l'avifaune du delta central nigérien et régions avoisinantes. *Rev. Hist. Nat. Appl. (B)*, 33 pp.
- **DUNPHY G.** et **TIBELIUS K.**, 1992- Les progrès technologiques augmentant l'efficacité de *Bacillus thuringiensis* et *Bacillus sphaericus* en tant qu'insecticides microbiens, in *Lutte biologique* : 305-320.
- **DURANTON J. F.**, 1979- Etude sur le criquet migrateur Africain dans son aire grégarigène du bassin Tchadien. Rapport du consultant de la FAO, assistance à l'OICMA, mars-avril 1980, GRDAT/PRIFAS, 30 pp.
- **DURANTON J.-F.** et **LECOQ M.**, 1990- Le criquet pèlerin au Sahel. Coll. : Acridologie opérationnelle, n°6, Ministère des affaires étrangères des Pays-Bas, Ed. La Hague/Montpellier, 183 pp.
- **DURANTON J.F.**, **LAUNOIS M.**, **LAUNOIS-LUONG M.H.** et **LECOQ M.**, 1979- Les voies privilégiées de déplacement du Criquet migrateur malgache en phase solitaire. *Bull. Ecol.* 10(2) : 107-123.
- **DURANTON J.-F.**, **LAUNOIS M.**, **LAUNOIS-LUONG M.H.** et **LECOQ M.**, 1982- Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche (2 vols). Groupement d'Étude et des Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (G.E.R.D.A.T.), Paris 1496 pp.
- **DURANTON J.F.**, **LAUNOIS M.**, **LAUNOIS-LUONG M.H.** et **LECOQ M.**, 1987- Guide anti-acridien du sahel. Min. Coop. Dev., Ed. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, 344 pp.
- **EDBERG S.C.**, 1991- US EPA human health assessment: *Bacillus subtilis*. Unpublished, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- **ERROUX J.**, 1953- Les céréales de l'Ouedi-El-Hadjal *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord* 45 : 302-317.

- FARROW R.A., 1972- The African Migratory Locust in its main outbreak area of the Middle Niger : quantitative studies of solitary populations in relation to environmental factors. Ph. D. Thesis, Reading, 364 pp.
- FARROW R.A., 1974- Comparative plague dynamics of tropical *Locusta* (Orthoptera, Acrididae). Bull. Entomol. Res. 64 : 401-411.
- FARROW R.A., 1975- The African Migratory Locust in its outbreak area of the Middle Niger: quantitative studies of solitary populations in relation to environmental factors. *Locusta* 11 : 198 pp.
- FARROW R.A. et COLLESS D.H., 1980- Analysis of the interrelationships of geographical races of *Locusta migratoria* (L.) (Acrididae) by numerical taxonomy, with special reference to sub-speciation in the tropics and affinities of the Australian race. *Acrida*. 7 : 76-96.
- FERENZ H. J., LUBER K. et WIETING J., 1994- Pheromones as a means of controlling migratory locusts. In: New trends in locust control (eds. S. Krall, H. Wilps), GTZ, Eschborn, TZ-Verlagsgesellschaft Rossdorf, pp : 81-89.
- FELLAOUINE R., 1989- Bioécologie des Orthoptères de la région de Sétif. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- FINOT A., 1890- Insectes Orthoptères. Thysanoures et Orthoptères proprement dits. Faune de la France. Ed. Deyrolle, Paris, pp : 153-155.
- FISHELSON, L., 1985- Fauna Palaestina. Insecta III, Orthoptera: Acridoidea. Jerusalem. 229 pp.
- FOU CART A., 1997- Inventaire et dynamique annuelle du peuplement acridien de la plaine de la Crau sèche (Bouches-du-Rhône, France) (Orthoptera, Acridoidea). Bulletin de la Société Entomologique de France 102(1) : 77-87.
- FRAPPA C., 1947- Les acridiens et la lutte antiacridienne. Bull. Agric. Madagascar et Dépendances.
- GADOUM F., 1997- Contribution à l'étude bioécologique des orthoptères dans la région de Tizi Rached (Tizi Ouzou). Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp : 20-38.
- GANGWERE S.K., 1961- A monograph on food selection in Orthoptera. Trans. Amer. Nt. Soc. 87 : 67-230.
- GHAOUT S., 1990- Contribution à l'étude des ressources trophiques de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae) solitaire en Mauritanie occidentale et télédétection de ses biotopes par satellite. Thèse de Doctorat d'Etat Es-Sciences, Paris XI (Orsay, France), 201 pp.
- GILLON Y., 1974- Variations saisonnières des populations d'Acridiens dans une savane préforestière de Côte d'Ivoire. *Acrida*, 3 : 129-174.
- GIRARDIE J. et GIRARDIE A., 1996- Lom OMP, a putative ecdysiotropic factor for the ovary in *Locusta migratoria*. J. Insect Physiol. 42 (3) : 215-221.
- GIRARDIE J., RICHARD O. et GIRARDIE A., 1996- Detection of vitellogenin in the haemolymph of larval female locust (*Locusta migratoria*) treated with neurohormone, Lom-OMP. J. Insect Physiol. 42 (2):107-113.
- GOLDBERG L. et MARGALIT J., 1977- Bacteria spore demonstrating larvicidal activity against *Anopheles sergentii*, *Uranotaenia unquicullata*, *Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*. Mosq. News 37 : 355-358.
- GRASSE P.P., 1924- Les ennemis des Acridiens ravageurs français. Rev. Zool. Agric. Appl. 22 : 1-16, 45-53, 57-66, Bordeaux.
- GRASSE P.P., 1949- Traité de zoologie. Anatomie, systématique, biologie. ED. Masson, Paris, t. IX, 1117 p.
- GREATHED P., KOOYMAN C., LAUNOIS-LUONG M. H. et POPOV G.B., 1994- Les ennemis naturels des croquets du Sahel. Coll. Acrid. Operat. no 5, Ed. CIRAD/PRIFAS, Montpellier, 147 pp.
- GRICHANOV I.Y. et SAULICH M.I., 2003- The area and zones of mass outbreaks of the Migratory Locust (*Locusta migratoria* (L.)). [http://www.agroatlas.spb.ru/pests/Metadata/Meta\\_Locusta\\_migratoria\\_en.htm](http://www.agroatlas.spb.ru/pests/Metadata/Meta_Locusta_migratoria_en.htm).
- GROENENDIJK D., ZEINSTRAL.W.M. et POSTMA J.E., 1998- Fluctuating assymetry and mentum gaps in populations of the Midge *Chironomus riparius* (Diptera : Chironomidae) from a metal-contaminated river. Environmental toxicology and chemistry 17(10) : 1999-2005.
- GUENDOOUZ-BENRIMA A., 2005- Ecophysiologie et biogéographie du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae) dans le sud Algérien. Thèse de Doctorat, Int., Nat., Agro., El Harrach, 210 pp.
- GUINET P., 1954- Carte de la Végétation de l'Algérie. Feuille de Béni Abbès. Soc. Sc. Nat. Maroc, 46-48.
- GUINOCHE M. et QUEZEL P., 1954- Reconnaissance phytosociologique autour du Grand Erg occidental. Trav. Inst. Rech. Sah., 12 : 11-27.
- GUIRAUD J.P., 2003- Microbiologie alimentaire: Application à l'étude des principaux groupes microbiens. Ed. Dunod, 651 p.
- GUISAN A. et THUILLER W., 2005- Predicting species distribution : offering more than simple habitat models. Ecology Letters 8 : 993-1009.
- GUPTA D.K. et VYAS M., 1989- Efficacy of *Bacillus subtilis* against mosquito larvae (*Anopheles culicifacies*). Zeitschrift fuer Angewandte Zoologie 76(1) : 85-91.

- **HALILAT M.T.**, 1993- Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (Région de Ouargla). Thèse Magister, INFS Agronomie, Batna, 132 pp.
- **HALOUANE F., BENZARA A., DOUMANDJI-MITICHE B.** et **BOUHACEIN M.**, 2001- Effet de deux entomopathogènes, *Beauveria bassiana* et *Metarhizium flavoviride* (Hyphomycètes, Deuteromycotina) sur l'hémogramme des larves de 5ème stade de *Locusta migratoria migratorioides* (Orthoptera, Acrididae). Journal of Orthoptera Research 10(2) : 331-334.
- **HAMADI K.**, 1998- Bioécologie de la faune orthoptérologique en Mitidja. Etude de l'activité biologique d'extraits de plantes acridifuges sur *Aiolopus strepens* (Latreille, 1804) (Orth. Acrididae). Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp: 14-49.
- **HAMDI H.**, 1989- Etude bioécologique des peuplements orthoptérologiques des dunes fixées du littoral algérois. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 165 pp.
- **HAMDI H.**, 1992- Etude bioécologique des peuplements orthoptérologiques des dunes fixées du littoral Algérois. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 166 pp.
- **HAMMER Ø., HARPER D.A.T.** et **RYAN P.D.**, 2001- PAST vers. 1.34. Palaeontological Statistic software package for education and data analysis. <http://folk.uio.no/ohammer/past>, Palaeontologica Electronica 4(1): 9 pp.
- **HANNACHI S.** et **KHITRI O.**, 1991- Inventaire et identification des cultivars de dattier de la cuvette de Ouargla. Organisation de la variabilité. Mém. Ing. Agro., INFS/AS, Ouargla, 58 pp.
- **HARDERSEN S.** et **FRAMPTON C.M.**, 1999- Effects of short term pollution on the level of fluctuating asymmetry - a case of study using damselflies. Entomologia Experimentalis et Applicata 92 : 1-7.
- **HARZ K.**, 1962- Zur Rassenfrage der Wanderheuschrecke *Locusta m. migratoria* L. in Europa. Mitteilungen der Münchner entomologischen Gesellschaft 52 : 39-84.
- **HARZ K.**, 1975- Die Orthopteren Europas II - The Orthoptera of Europe II Series Entomologica, 11: 1-939.
- **HASSAN A.**, 1978- Pests of national importance in the Sudan pp. 165-181, in: 4th Scientific conference: Chemicalization of Plant Production in the Tropics and Subtropics, June 27th- Jul 7th 1977, Karl Marx Universität, Institut für Tropische Landwirtschaft.
- **HÖFTE H.** et **WHITELEY H.R.**, 1989- Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. Microbiol. Rev. 53 : 242-255.
- **HOULBERT C.**, 1927- Thysanoures-Dermaptères et Orthoptères. France et Faune Européenne. Ed. Gaston Doin et Cie, Paris, pp : 123-124.
- **HUMMELEN P.** et **GILLON, Y.**, 1968- Etude de la nourriture des acridiens de la savane de Lamto en Côte d'Ivoire. Annales de l'Université d'Abidjan, série E, fasc. 2.
- **HUNTER-JONES P.**, 1961- Rearing and Breeding Locusts in the Laboratory. Anti-Locust Research Centre, London.
- **IGHIL-KRIM L.**, 1995- Contribution à l'étude comparative génésique et alimentaire de quelques orthoptères Caelifères abondants dans les régions de Mouzaïa et Soumaâ. Thèse Ing. Univ. Sci. et Tech. Saad Dahleb, Blida, 73 pp.
- **I.N.P.V.**, 1993-1995- Rapports de mission. Prospections et lutte anti-acridienne 1993-1995. Institut National de la protection des végétaux, El Harrach, Alger.
- **JANNONE G.**, 1936- Nuovi contributi alla conoscenza della fauna delle Isole Italiane dell' Egeo. V. Studio bio-ecologico e sistematico dell' Ortotterofauna con notizie sui Blattodei, Mantodei e Fasmoidi. Bollettino Laboratorio di Zoologia generale e agraria R. Scuola superiore d' Agricoltura Portici 29 : 47-248.
- **JENTZSCH A., KÖHLER G.** et **SCHUMACHER J.**, 2003- Environmental stress and fluctuating asymmetry in the grasshopper *Chorthippus parallelus* (Acrididae: Gomphocerinae). Zoology 106(2) : 117-125
- **KABASSINA B.**, 1990- Comparaison faunistique des Caelifères de la station de Caïd Gacem et de divers étages bioclimatiques du Togo. Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp : 32-82.
- **KANG L.** et **YONGLIN C.**, 1991- The analysis of numerical taxonomy to the inter-relationships among different geographic populations of *Locusta migratoria* (L.) phase solitaria (Orthoptera, Acrididae). Sinozoologia 8 : 71-82.
- **KANG L., HONGCHANG L.** et **YONGLIN C.**, 1989- Analysis of numerical character variations of geographical populations of *Locusta migratoria* phase solitaria in China. Acta Entomologica Sinica 32: 418-426.
- **KEITH M.** et **KEVAN D.**, 1992- Les agents de lutte biologique existants et potentiels contre les orthoptéroïdes nuisibles. In lutte biologique, pp : 137-139, Ed. Gaïtan Morin, Québec, 671 pp.
- **KHOUDOUR A.**, 1994- Bioécologie des orthoptères dans trois stations d'étude de la région de Bordj Bou Arreridj. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **KLIER A., BOURGOUIN C.** et **RAPOPORT G.**, 1983- Mating between *Bacillus subtilis* and *Bacillus thuringiensis* and transfer of cloned crystal genes. Mol. Gen. Genet. 191: 257-262.
- **KLINGENBERG C.P.** et **MCINTYRE G.S.**, 1988- Geometric morphometrics of developmental instability: Analyzing patterns of fluctuating asymmetry with procrustes methods. Evolution 52(5) : 1363-1375.
- **KNOWLES B. H.**, 1994- Mechanism of action of *Bacillus* insecticidal d-endotoxins. Adv. Insect Physiol. 24 : 275-308

- **KOUCHA S.**, 1997- Contribution à l'étude de quelques aspects de la biologie, la morphologie et l'alimentation du criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1775) (Orthop. Acrididae) au laboratoire. Thèse Ing. Univ. Sci. et Tech. Saad Dahleb, Blida, 92 pp.
- **KRAUSS H.A.** et **VOSSELER J.** 1896- Beiträge zur Orthopterenfauna Orans (West-Algerien). Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, Oekologie und Geographie der Tiere 9 : 515–556, pl. 7.
- **KUMMAR S.**, **TAMURA K.** et **NEI M.**, 2004- Mega 3.0. Integrated software for Molecular Evolutionary Genetics Analysis and sequence alignment. Briefing in Bioinformatics 5 : 131-149.
- **LA GRECA M.**, 1959- L'ortotterofauna pugliese ed il suo significato biogeografico. Mem. Biogeogr. adriat., Venice 4 : 33-170.
- **LAMOTTE M.** et **BOURLIERE H.**, 1978- Problèmes d'écologie : Ecosystèmes terrestres. Ed. Masson, Paris, 398 pp.
- **LARID D.**, 1989- Comparaison faunistique entre trois stations au Mont Mouzaïa dans le Parc National de Chréa. Thèse Ing. Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp : 15-30.
- **LATCHININSKY A.** et **LAUNOIS-LUONG M.H.**, 1992- Le criquet Marocain *Doclostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) dans la partie orientale de son aire de distribution. Ed. CIRAD-GERDAT-PRIFAS, Montpellier, Saint-Pétersbourg, 270 pp.
- **LAUNOIS M.**, 1974- Influence du facteur pluviométrique sur l'évolution saisonnière du Criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Sauss.) en phase solitaire et sur sa grégarisation à Madagascar. Thèse Dr. Sc., Univ. Paris-Sud. 159 pp.; Paris (Ministère de la Coopération).
- **LAUNOIS M.**, 1996- Veille acridienne et affrontements hommes-criquets au Sahel. Sécheresse 2(7) : 83-85.
- **LAUNOIS-LUONG, M.A.**, 1975- L'alimentation du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Sauss.) en phase solitaire à Madagascar : régimes et effets. Thèse. Ministère de la Coopération, 202 pp.
- **LAUNOIS-LUONG, M.A.**, 1978- Méthode pratique d'interprétation de l'état des ovaires des acridiens du Sahel. Annales de zool. Ecol. Anim. 10 : 569-587.
- **LAUNOIS-LUONG M.A.** et **LECOQ M.**, 1989- Vade Mecum des criquets du Sahel. Coll. Acrid. Oper., n°5, Ed. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, France, 125 pp.
- **LAUNOIS-LUONG M.A.** et **POPOV G.B.**, 1992- *Schistocerca gregaria* (Forsk. 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae). CIRAD/PRIFAS, ISBN : 2-87614-072-1, 4 pp.
- **LAUNOIS-LUONG M.A.** et **LECOQ M.**, 1993- Manuel explicatif du code OMM de transmission des informations sur les criquets ravageurs. Ed. CIRAD-PRIFAS, Genève, 31 pp.
- **LAUNOIS-LUONG M.A.**, **LAUNOIS M.** et **RACHADI T.**, 1988- La lutte chimique contre les criquets du Sahel. Coll. Acrid. Operat. no 3, Ed. CIRAD/PRIFAS, Montpellier, 125 pp.
- **LAZARE K.**, 1995- Etude de l'activité biologique de substances non biocides extraites de plantes et de souches bactériennes à l'égard de *Drosophila melanogaster* (Meigen) et d'insectes ravageurs de diverses denrées stockées. Thèse DEA, Fac. Sci. Agron., Gembloux (Belgique), 81 pp.
- **LAZARE K.**, **HAUBRUGE E.**, **DESTAIN J.**, **THONARD P.** et **GASPAR C.**, 1996- L'utilisation de *Bacillus subtilis* (Cohn.) comme insecticide à l'égard de *Drosophila melanogaster* (Meigen). Med. Fac. Landbuww. Univ. Gent (Belgique) 61/3a : 887-893.
- **LEAN O.B.**, 1931- On the recent swarming of *Locusta migratorioides* R. & F. Bull. Ent. Res. 22 : 365-378.
- **LE BERRE J.R.**, 1973- Physiologie de la vie de nutrition. Cours d'enseignement. Laboratoire d'entomologie. Orsay.
- **LECADET M.M.**, **MARTOURET D.**, 1967- Enzymatic hydrolysis of the crystals of *Bacillus thuringiensis* by the proteases of *Pieris brassicae*. II. Toxicity of the different fractions of the hydrolysate for larvae of *Pieris brassicae*. Journal of Invertebrate Pathology 9 : 322–333.
- **LECADET M.M.**, **FRANCHON E.**, **COSMAO DUMANOIR C.**, **RIPOTEAU H.**, **HAMON S.**, **LAURENT P.** et **THIERY I.**, 1999- Updating the H-antigen classification of *Bacillus thuringiensis*. J. Appl. Microbiol. 86 : 660–672.
- **LECLERC.**, **IZARD D.**, **HUSON M.O.**, **WATTRE P.**, et **KUBC J.A.**, 1995- Microbiologie générale. Ed. Doin, 369 pp.
- **LECOQ M.**, 1974- Contribution à l'étude des déplacements des populations imaginaires de *Locusta migratoria capito* (Sauss.) dans la nature. Annales de Zoologie - Ecologie Animale n° hors série : 225-262.
- **LECOQ M.**, 1975- Les déplacements par vol du Criquet migrateur malgache en phase solitaire : leur importance sur la dynamique des populations et la grégarisation. Ministère de la Coopération (Paris) : 272 pp.
- **LECOQ M.**, 1978- Biologie et dynamique d'un peuplement acridien de zone soudanienne en Afrique de l'Ouest (Orthoptera, Acrididae). Annales de la Société Entomologique de France N.S. 14(4) : 603-681.
- **LECOQ M.**, 1991- Le criquet migrateur en Afrique et à Madagascar. Guide des principaux locustes et criquets ravageurs du monde entier. Ed. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, France, 131 pp.
- **LECOQ M.** et **MESTRE J.**, 1988- La surveillance des sauteriaux du Sahel. Collection d'Acridologie opérationnelle n°2, CIRAD, Montpellier, 62 pp.

- **LE HOUEROU H.N. CLAUDIN J. et HAYWOOD M.**, 1975- Etude phytoécologique du Hodna. FAO, UNIP/SF ALG. 9, 1 vol. multigr. 154 p, 2 cartes.
- **LIU Y. et LEO P.L.**, 1959- On the anatomy and histology of the reproductive system of the oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis* Meyen (Orthop. Acrididae). Acta. Ent. Ica. 9 : 1-11.
- **LOMER C.J. et PRIOR C.**, 1992- Lutte biologique contre les acridiens. Comptes rendus Inst. Nat. Agri. Trop. Cotonou : 79-88.
- **LOUVEAUX, A., MAINGUET A.M. et GILLON Y.**, 1983- Recherches sur la signification des différentes valeurs nutritives observées entre les feuilles de blé jeunes et âgées chez *Locusta migratoria* (R. & E.) (Orthoptera Acrididae). Bull. Soc. Zool. Fr. 108(3) : 453-465.
- **MAINGUET A.M., LOUVEAUX A., EL SAYED G. et ROLLIN P.** 2000- Ability of a generalist insect, *Schistocerca gregaria*, to overcome thioglucoside defense in desert plants: tolerance or adaptation ? Entomologia Experimentalis et Applicata 94(3) : 309-317.
- **MAIRE R.**, 1926- Notice phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Avec 1 carte. Alger.
- **MAIRE R.**, 1943- Contribution à l'étude de la Flore des montagnes du Sahara méridional. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord 34 : 134-141.
- **MASON M. et MCHIVE F.**, 1991- Le criquet migrateur Africain. Biologie et lutte. Ed. Bayer, division phytosanitaire, Leverkusen, RFA, 20 pp.
- **MESTRE J.**, 1988- Les acridiens des formations herbeuses d'Afrique de l'ouest. Ed. PRIFAS, Acrid. Oper. Ecof. Enter., Montpellier, 331 pp.
- **MEZREB D.**, 1993- Bioécologie des Orthoptères et contribution à l'étude du régime alimentaire de *Calliptamus barbarus* (Costa, 1836) dans la région de Aïn El Hammam (Tizi Ouzou). Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **MINISTERE DE L'AGRICULTURE**, 2000- L'Agriculture dans l'économie Nationale. 42 pp.
- **MOHAMED SAHNOUN A.**, 1995- Bioécologie du peuplement orthoptérologique de la station du Col des Fougères (Parc National de Chréa). Régime alimentaire et développement ovarien de *Thalpomena algeriana* Lucas, 1849 (Orth. Oedipodinae). Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **MOHAMMEDI A.**, 1996- Bioécologie des orthoptères dans trois types de stations de la région de Chlef. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **MOLINARI K.**, 1989- Etude faunistique et comparaison entre trois stations dans le marais de Reghaïa. Thèse Ing, Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp : 4-80.
- **MORDUE A.J. et BLACKWELL A.**, 1993- Azadirachtin : an update. Journal of Insect Physiology 39(11) : 903-924.
- **MORDUE A.J., EVANS K.A. et CHARLET M.**, 1986- Azadirachtin, ecdysteroids and ecdysis in *Locusta migratoria*. Compendium of Biochemical physiology 85 (2), 297-301.
- **MOUMEN K.**, 1997- La transformation phasaire chez le criquet pèlerin *S. gregaria* (Forskål, 1775). Mécanisme et action de l'alimentation. Thèse de DEA, Fac., Scien., Biol., Univ., Tunis, 36 pp.
- **MOUSSA A.**, 2003- Effet de l'huile de neem *Azadirachta indica* sur quelques paramètres biologiques et physiologiques de *Locusta migratoria* L. et *Locusta migratoria migratorioides* R. et F. (Orth. Acrididae). Thèse Magister, Inst. Nat. Agron. El Harrach, 123 pp.
- **MOUSSI A. et HARRAT A.**, 2002- Contribution à l'inventaire de la faune acridienne dans la région de Constantine et la région de Biskra. Recueil des actes de la IV journée d'Acridologie, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 4 mars 2002, pp : 14-18.
- **MULKERN G.B.**, 1983- Sex Ratios of *Melanoplus sanguinipes* and other Acrididae (Orthoptera). Journal of the Kansas Entomological society 56(4) : 457-465.
- **MUSSO J.J., GARNIER R. et LEGIER F.**, 1978- Comparaison de la toxicité du venin de quelques Asilides (Dipt. Brachycera) sur le criquet migrateur. Annales de la Société Entomologique de France 14 : 177-184.
- **MUSUNA A.C.Z. et MUGISHA F.N.**, 1997- Evaluation of insect growth regulators for the control of the African migratory locust, *Locusta migratoria migratorioides* (R. & F.), in Central Africa. In: New Strategies in Locust Control (eds. S. Krall, R. Peveling, D. Ba Diallo), Birkhäuser Verlag, Basel, 137-142.
- **NASSEH O., KRALL S., WILPS H. et SALISSOU G.B.**, 1992- Les effets d'inhibiteurs de croissance et de biocides végétaux sur les larves de *Schistocerca gregaria* (Forskål). Sahel PV Info Bull. Inform. Protect. Végétaux UCTR/PV 45 : 5-19.
- **NEDJRAOUI D.**, 2003- Country pasture, forage resource profiles. Ed. FAO, Grassland and pasture crops, Algérie, 1-29.
- **NICOLAS G.**, 1970- Action du gaz carbonique sur les caractéristiques phasaires de *Locusta*. Bull. liaison Ass. Acridologie 4 : 9-10.
- **NICOLAS G.**, 1972- Evolution vers le type solitaire chez le criquet grégaire, *Locusta migratoria cinerascens* (F.), soumis à l'action périodique du gaz carbonique. Acrida (Paris) 1 : 97-110.

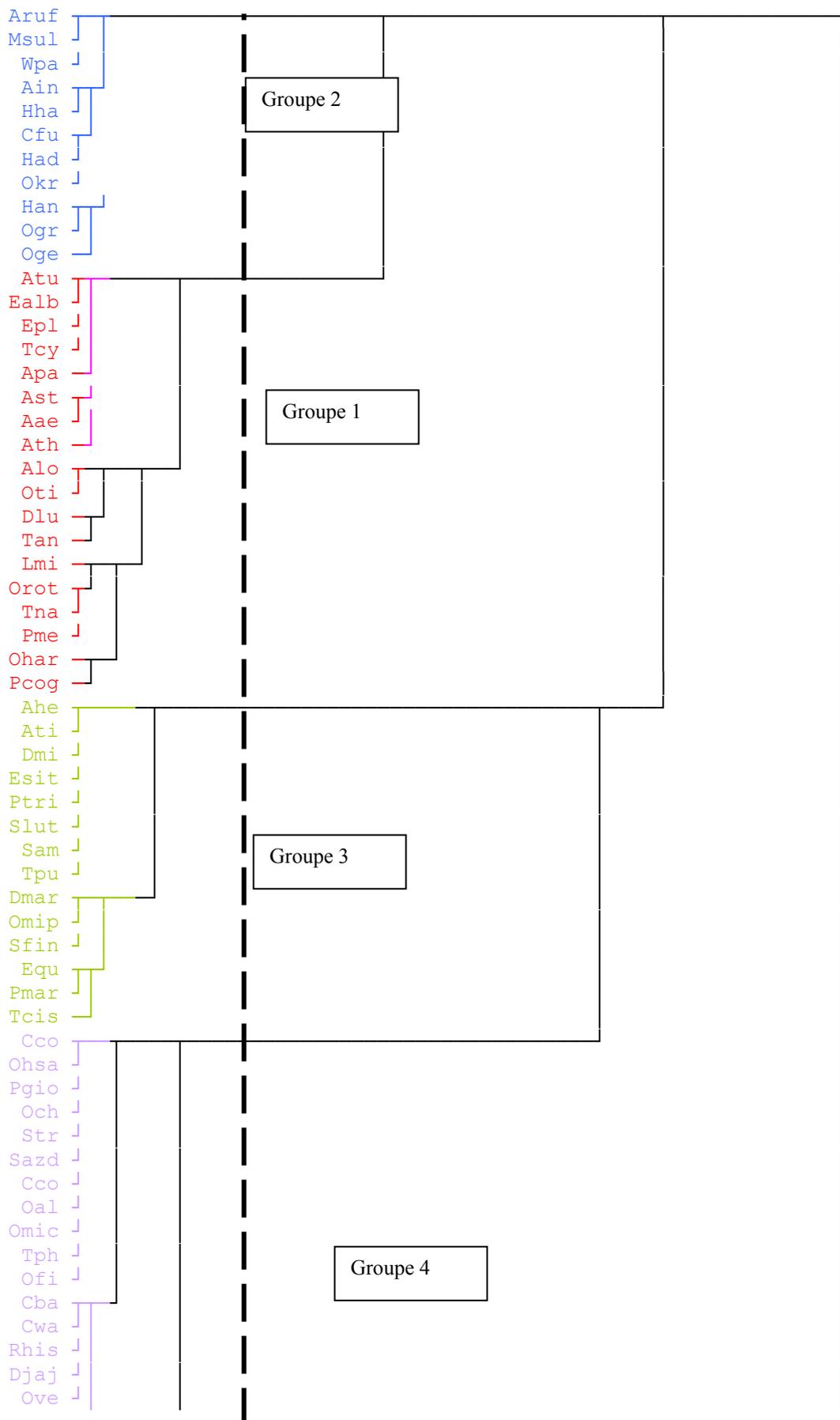
- **NICOLAS G.**, 1973- Etude morphométrique du Criquet migrateur, *Locusta migratoria cinerascens* (Fab.). Evolution vers le type solitaire sous l'action périodique du gaz carbonique. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences D 276 : 1475-1478.
- **NICOLAS G.** et **ISMAIL S.**, 1979- Effets de l'implantation de cerveaux contenant leurs centres neurosécréteurs sur la reproduction de femelles de *Locusta migratoria cinerascens* élevées groupées ou isolées; étude du poids des descendants nouveau-nés. Compte Rendu Hebdomadaire des Séances de l'Académie des Sciences D 288 : 1469-1472.
- **NICOLAS G.**, **CASSIER P.** et **FAIN-MAUREL M.A.**, 1969- Evolution vers le phénotype solitaire et persistance des glandes de mue chez *Locusta migratoria cinerascens*, phase grégaire, sous l'influence du gaz carbonique. Etude expérimentale et infrastructurale. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences D 268 : 1532-1534.
- **NICOLAS G.**, **FUZEAU-BRAESCH S.** et **DJEDDOUR K.**, 1979- Influence de la suppression du thermopériodisme sur les caractéristiques morphométriques du criquet migrateur, *Locusta migratoria* L., élevé en groupe. Compte Rendu Hebdomadaire des Séances de l'Académie des Sciences D 288 : 343-346.
- **NIKULIN A.A.**, 1969- A review of the Orthopteroidea of central and eastern Ciscaucasus. [Russe]. Ent. Obozr 48 : 774-786. Traduction anglaise : Ent. Rev., Washington 48 : 491-497.
- **NOVITSKIĬ V.Ya.**, 1963- Natural and economic conditions of the breeding area of the Asiatic Locust *Locusta migratoria migratoria* L. ((Orthoptera Acrididae) in the Amu-Darya Delta. [Russe] Ent. Obozr. 42 : 251-263. Traduction anglaise : Ent. Rev. Washington 42 : 139-145.
- **ODINDO M.O.**, 1991- Potential of microorganisms for locust and grasshopper control. Insect Sci. Applic. 32 (5/6): 717-722.
- **OHABUIKÉ J.E.**, 1979a- The effects of selected food plants on growth and maturity of *Locusta migratoria migratorioides* (R. & F.). Zeitschrift für angewandte Entomologie 88 : 245-261
- **OHABUIKÉ J.E.**, 1979b- Grass availability and food preference of the African migratory locust, *Locusta migratoria migratorioides* (R. & F.) Zeitschrift für angewandte Entomologie, 88(4) : 354-363
- **OTANES F.Q.**, 1953- Notes on entomological work in the Philippines since 1939, with special reference to the Oriental Migratory Locust (*Locusta migratoria manilensis* Meyen). Proc. 7th Pacific Sci. Congr. 4 [1949] : 164-174; Auckland.
- **OTHMAN K.S.A.** et **SCHMIDT H.**, 1998- Effect of fenoxycarb as growth regulator on larval development and phase transformation in *Locusta migratoria migratorioides* (R. & F.) (Caelifera, Acrididae). Bolletino del Laboratorio di Entomologia agraria 54 : 3-10.
- **OUEDRAOGO R.M.**, 2005- Influence de la thermorégulation sur la mycose par *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* chez le criquet migrateur, *Locusta migratoria*. Département de phytologie, Université Laval, Sainte-Foy (Québec), Canada G1K 7P4.
- **OULD ELHADJ M.D.**, 1991- Bioécologie des sauterelles et des sautériaux dans trois zones d'étude au Sahara. Thèse Magister, Int. Nat. Agro., El Harrach, 85 pp.
- **OULD ELHADJ M.D.**, 2002- Les nouvelles formes de mise en valeur dans le Sahara algérien et le problème acridien. Science et changements planétaires / Sécheresse 13 : 37-42.
- **OZENDA P.**, 1991- Flore et végétation du Sahara. 3<sup>e</sup> Ed. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, pp : 39-96.
- **PADONOU G.**, 1970- The International African Migratory Locust Organization. Bull. Fld Sci. Off. Afr. 5 : 46-48.
- **PARRY J.M.**, **TURNBULL P.C.B.** et **GIBSON J.R.**, 1983- A Colour Atlas of *Bacillus* Species. Wolfe Medical Publications, Ltd., London.
- **PASQUIER R.**, 1937- Le criquet Marocain en Algérie. Les recherches scientifiques récentes et leur répercussion sur la lutte rationnelle. Agria 53 : 1-14.
- **PASQUIER R.** et **GERBINOT B.**, 1945- Utilisation du mélia pour la protection des cultures contre les invasions de la sauterelle pèlerine. Bull. Sem. Off. Nat. Lutte antiacridien 2(2) : 17-23.
- **PASSAGER P.**, 1957- Ouargla (Sahara Constantinois). Etude géographique et médicale. Arch. Inst., Pasteur, Alger, 35(2) : 99-200.
- **PETIT D.**, 2005- Données récentes sur la phylogénie moléculaire des Acrididae, spécialement les Oedipodinae et les Gomphocerinae. Matériaux Orthoptériques et Entomocénétiques 10 : 7-18
- **PETIT D.**, **PICAUD F.** et **ELGHADRAOUI L.**, 2006- Géométrie morphologique des ailes des Acrididae (Orthoptera, Caelifera) : sexe, stridulation, caractère. Annales de la Société entomologique de France, sous presse.
- **PICAUD F.**, **BONNET E.**, **GLOAGUEN V.** et **PETIT D.** 2003- Decision Making for Food Choice by Grasshoppers (Orthoptera: Acrididae): Comparison Between a Specialist Species on a Shrubby Legume and Three Graminivorous Species. Environmental Entomology 32(3) : 680 – 688.
- **PICKFORD R.**, 1962- Development, survival and reproduction of *Melanoplus bilituratus* (Wlk.) (Orthoptera: Acrididae) reared on various food plants. Can. Entomol. 94: 859-869.

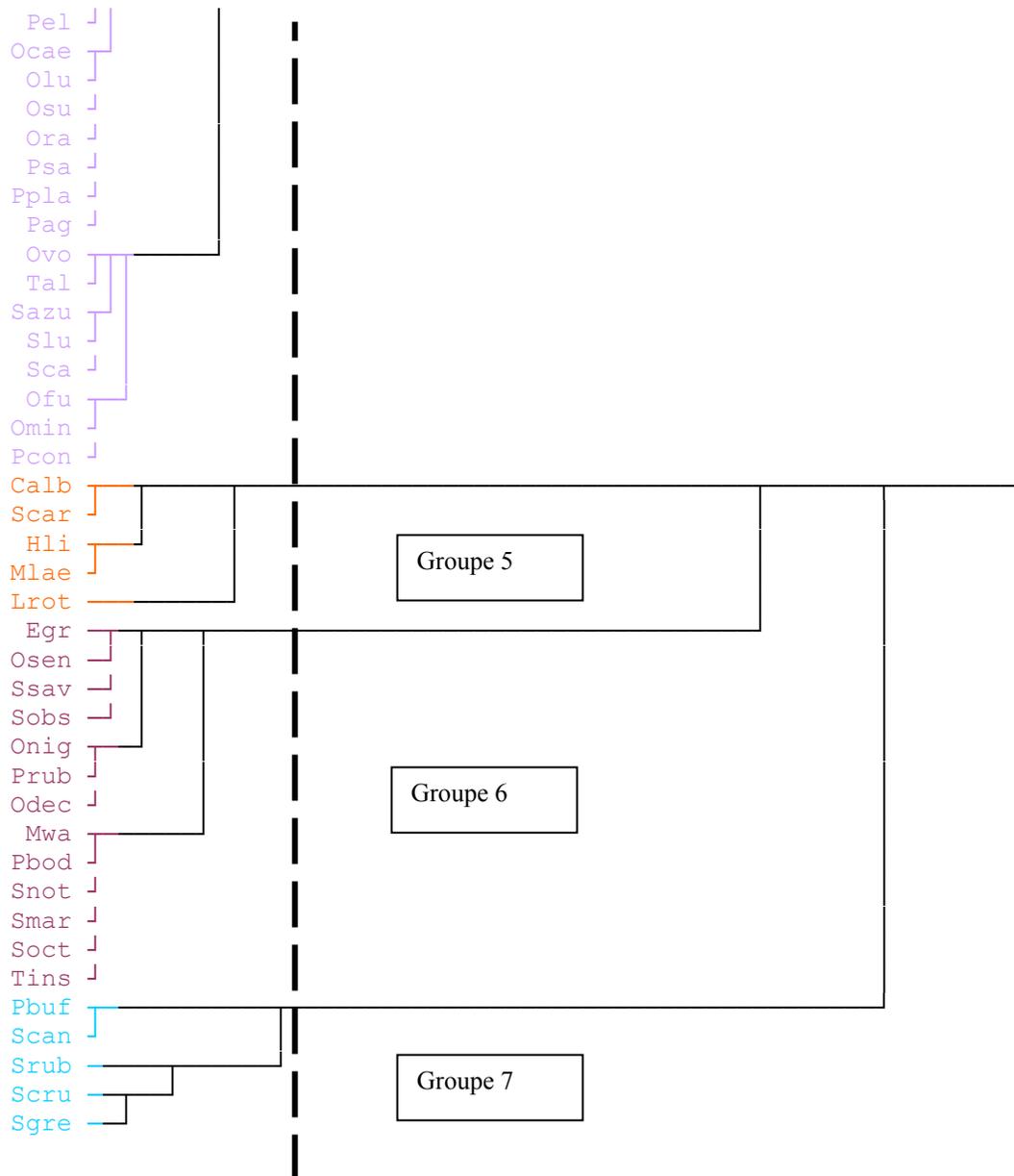
- **POPOV G.B.**, 1996- Quelques effets de la sécheresse sahélienne sur la dynamique des populations acridiennes. Sécheresse, n°2, vol. 7, 91-97.
- **POPOV G.B., DURANTON J.F. et GIGAULT J.**, 1991- Etude écologique des biotopes du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) en Afrique nord occidentale. Mise en œuvre et description des unités territoriales écologiquement homogènes. Coll : Les Acridiens, CIRAD-PRIFAS : Montpellier (France), 744 pp.
- **PORAS M.**, 1971- Etude bioécologique du criquet migrateur africain *Locusta migratoria migratorioides* (R. et F.) dans son milieu naturel au Mali. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Annales de l'Université d'Abidjan, série E Ecologie, tome 5, fasc. 1.
- **PRAT H.**, 1932- L'épiderme des graminées. Etude anatomique et systématique. Annales des Sciences naturelles, Botanique, 10<sup>ème</sup> série.
- **PREDTECHENSKIÏ S.A.**, 1928- The Locust species of the Lower Volga region. [En Russe avec résumé anglais]. Zap. Astrakh. Sta. Zashch. Rast. Vredit. 2(1) : 115 pp, 2 cartes.
- **PRIOR C. et GREATHEAD D.J.**, 1989- Biological control of locusts: the potential of the exploitation of pathogens. FAO plant prot. Bull 37(3) : 37-48.
- **QUESADA-MORAGA E., GARCIA-TOVAR E., VALVERDE-GARCIA P. et SANTIAGO-ALVAREZ C.**, 2004- Isolation, geographical diversity and insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* from soils in Spain. Microbiological Research 159 : 59-71.
- **QUEZEL P.**, 1954- Contributions à la Flore de l'Afrique du Nord. IV- Contribution à la Flore du Hoggar. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord 44 : 55-67.
- **QUEZEL P. et SANTA**, 1962-1963- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS Ed. Paris, 1170 pp.
- **QURIS R.**, 1997- GTABM, logiciel d'analyses multivariées sous MS-DOS. Université de Rennes.
- **RACCAUD-SCHOELLER J.**, 1980- Les insectes : physiologie-développement. Ed. Masson, Paris, 296 pp.
- **RACHADI T.**, 1991- Précis de lutte anti-acridienne : la pulvérisation des pesticides. Min.Coop. Dev., Ed. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, 312 pp.
- **REMAUDIERE G.**, 1948- Sur l'existence en France d'une nouvelle sous-espèce de *Locusta migratoria*. Compte Rendu Hebdomadaire des Séances de l'Académie des Sciences D 225 : 1025-1026.
- **REMAUDIERE G.**, 1954- Etude écologique de *Locusta migratoria migratorioides* R. et F. (Orth. Acrididae) dans la zone d'inondation du Niger en 1950. Locusta 2.
- **REMBOLD H.**, 1994- Controlling locusts with plant chemicals. In: New Trends in Locust Control (eds. S. Krall, H. Wilps), GTZ, Eschborn, TZ-Verlagsgesellschaft Rossdorf, p. 41-49.
- **REMY C., GUY J., PELLETIER G., BOER H.H.**, 1988- Immunological demonstration of a substance related to neuropeptide Y and FMRFamide in the cephalic and thoracic nervous systems of the locust *Locusta migratoria*. Cell Tissue Res. 254 : 189-195.
- **ROERICH R.**, 1951a- Parasites et prédateurs du criquet migrateur *Locusta migratoria gallica* REM. Dans les landes de Gascogne de 1945 à 1950. Annales des épiphyties 19 : 399-495.
- **ROERICH R.**, 1951b- Etude sur le régime alimentaire du criquet migrateur *Locusta migratoria gallica* REM. dans les landes de Gascogne. Annales des Epiphyties 19 : 496-508.
- **ROFFEY J.**, 1972- Migration and dispersal in the Australian Plague Locust (résumé). 14<sup>th</sup> Int. Congr. Ent. , Canberra : 155.
- **ROHLF F.J.**, 2005- TPS-RelW, relative warps vers. 1.42. Logiciel et manuel à l'adresse URL <http://life.bio.sunysb.edu/morph/morphnet/tpsrelw32.exe>.
- **ROSA PAIVA M.**, 1997- Potential of the use of semiochemicals against *Locusta migratoria migratorioides* (R & F). In: New trends in locust control (eds. S. Krall, H. Wilps), GTZ, Eschborn, TZ-Verlagsgesellschaft Rossdorf, pp : 293-303.
- **ROUVILLOIS-BRIGOL M.**, 1975- Le pays de Ouargla (Sahara Algérien). Ed. Dépt. Géog., Univ., Sorbonne, Paris, 389 pp.
- **RULQUIN H., VERIT R. et GUINARD-FLAMAND J.**, 2001- Tables des valeurs AADI des aliments des ruminants. Productions Animales (INRA), 14, suppl., 16 pp.
- **RUNGS, C.**, 1946- Végétaux toxiques pour les adultes de *Schistocerca gregaria* Forsk. Bull. Off. Natn. Anti-acrid. Algér no 1 (1945) : 35.[114].
- **SAHLI Z.**, 1994- La mise en valeur des zones arides en Algérie : risques et enjeux : cas particuliers de la région d'Adrar, Communication au séminaire : Mise en Valeur des Franges Pré-sahariennes du Maghreb, Tunis, Gabes, CERES.
- **SAHLI Z.**, 1997-Deux tentatives controversées de modernisation de l'agriculture en zone aride : l'opération "tomate d'Adrar" et la mise en valeur hydro-agricole du Touat Gourara (Wilaya d'Adrar - Algérie). In Jouve A.M. (ed.). La modernisation des agricultures méditerranéennes Montpellier : CIHEAM-IAMM, 1997. p. 283-295 : 17 réf., cart.: \*, 4 tabl., 3 graph. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 29).
- **S.A.S.**, 2002- JMP vers. 5.0. Software and manual for Windows™.
- **S.P.S.S. Inc.**, 1997- SYSTAT 7.0 for Windows, statistics and graphics.

- SAUVAGE C., 1963- Etages bioclimatiques. Comité National de géographie du Maroc. Atlas du Maroc, notices explicatives, section II : physique du globe et météorologie, Planche n° 6b, 31 pp.
- SCANLAN J.C., GRANT W.E., HUNTER D.M. et MILNER R.J., 2001- Habitat and environmental factors influencing the control of migratory locusts *Locusta migratoria* with an entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. Ecological Modelling 136 (2-3) : 223-236.
- SCHOofs L., HOLMAN G.M., PAEMEN L., VEELAERT D., AMELINCKX M. et DE LOOF A., 1993- Isolation, identification, and synthesis of PDVDHFLRFamide (SchistoFLRFamide) in *Locusta migratoria* and its association with the male accessory glands, the salivary glands, the heart, and the oviduct. Peptides 14 : 409-421.
- SCHOofs L., DANGER J.M., JÉGOU S., PELLETIER G., HUYBRECHTS R., VAUDRY H. et DE LOOF A., 1998- NPY-like peptides occur in the nervous system and midgut of the migratory locust, *Locusta migratoria* and in the brain of the grey fleshfly, *Sarcophaga bullata*. Peptides 9 : 1027-1036.
- SCHOofs L., CLYNEN E., CERSTIAENS A., BAGGERMAN G, WEI Z., VERCAMMEN T., NACHMAN R., DE LOOF A. et TANAKA S., 2001- Newly discovered functions for some myotropic neuropeptides in locusts. Peptides 22 : 219-227.
- SELTZER P., 1946- le Climat de L'Algérie. Inst. Météorol. Phys. Globe. Alger, 219 pp + 1 Carte.
- SETBEL S., 2003- Impact trophique du héron garde bœufs sur la faune associée en milieu agricole. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 249 pp.
- SEVALA V.L, SEVALA V.M. et LOUGHTON B.G., 1993- FMRFamide-like activity in the female locust during vitellogenesis. J. Comp. Neurol., 337: 286 -294.
- SMADHI D., 2001- SIG : base de données pour la gestion de l'environnement agroclimatique : cas des hauts plateaux semi arides. Sémin. Nation. Sur la problématique de l'Agriculture des zones arides et de la reconversion (Sidi Bel Abbès) : 50-58.
- SONG L., GAO M., DAI S. et PENG K., 2005- Activity of *Bacillus thuringiensis* against *Locusta migratoria manilensis*. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology 11 : 592-594.
- SOOHOO C.F et FRAENCKEL G., 1966- The consumption, digestion and utilisation of food plants by polyphagous insect *Prodenia eridania* (Gramet). J. Insect Physiol. 12 : 711-730.
- SPITTAELS K., VERHAERT P., SHAW C., JOHNSTON R.N., DEVREESE B., VAN BEEUMEN J. et DE LOOF A., 1996- Insect Neuropeptide F (NPF)-related peptides: Isolation from Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) brain. Insect Biochem. Molec. Biol. 26(4) : 375-382.
- STEEDMAN A., 1988- Manuel de lutte anti-acrididienne. Ed. ODNRI, France, 71 pp.
- STEPHAN D., WELLING M. et ZIMMERMAN G., 1997- Locust control with *Metarhizium flavoviride*: New approach in the development of biopreparation based on blastospores. New strategies in locust control, Birkhäuser verlage, Basel/ Switzerland, 151-158.
- TAMZAIT A., 1990- Etude bioécologique des orthoptères dans la région de Staoueli. Thèse Ing. Univ. Sci. et Tech. Saad Dahleb, Blida.
- TARAÏ N., 1991- Contribution à l'étude bioécologique des peuplements orthoptérologiques dans la région de Biskra et régime alimentaire de *Aiolopus thalassinus* (Fabricius, 1781). Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach, 120 pp.
- TELAILIA S., 1990- Bioécologie de la faune de différents milieux de la zone du lac Tonga (Parc National d'El Kala). Thèse Ing, Inst. Nat. Agro., El Harrach, pp : 4-57.
- TETEFORT J. et MÜLLER J., 1972- Etudes météorologiques – le criquet migrateur Malgache dans le sud de Madagascar. UNDP/SF MML/MET/2.
- TETEFORT J. et WINTREBERT D., 1963- Eléments d'Acridologie pratique à Madagascar. Agronomie Tropicale 9 : 876-932.
- THIOLLAY J.M., 1978- Les migrations des rapaces en Afrique occidentale : adaptations écologiques aux fluctuations saisonnières de production des écosystèmes. Terre et Vie 32 : 89-133.
- THORENS, P. et NADIG, A. 1997- Atlas de distribution des Orthoptères de Suisse : sauterelles, grillons, criquets (Orthoptera), mante religieuse (Mantodea). Documenta Faunistica Helvetiae 16 : 1-236.
- THUILLER W., LAVOREL S. et ARAUJO M., 2005- Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. Global Ecology and Biogeography 14 : 347-357.
- TSYPLENKOV E.P., 1972- *Locusta migratoria* (L.) in the U.S.S.R. and the dynamics of its numbers. In Hemming, C.F. & Taylor, T.H.C. (eds), Proceedings of the International Study Conference on the Current and Future Problems of Acridology. London, United Kingdom, 6-16 July 1970. London, Centre for Overseas Pest Research, pp. 361-365.
- US P.A., 1968- Beitrag zur Kenntnis der Orthopteren-Fauna (Saltatoria) von Montenegro [Contribution to the knowledge of the orthopteran fauna (Saltatoria) of Montenegro]. Beitr. Ent. 18 : 643-662.
- UVAROV B.P., 1913- The fight against locusts in the Government Department oh Stavropol during the period 1907-1912 (in Russian with German summary. St. Petersburg, Stavropol. Ent. Byuro. [88-343].

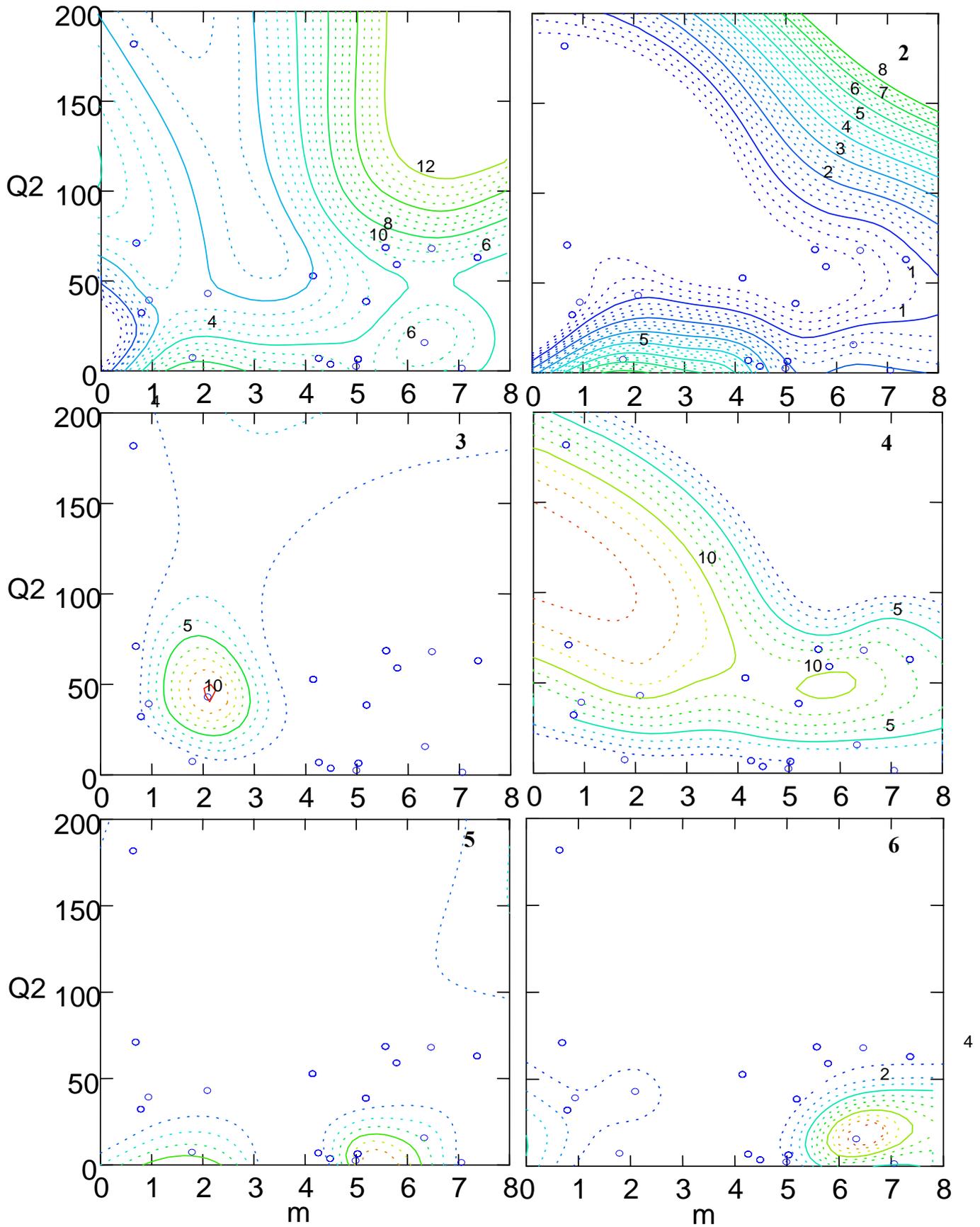
- **UVAROV B.P.**, 1921- A revision of the genus *Locusta*, L. (= *Pachytylus*, Fieb.) with a new theory as to the periodicity and migrations of locusts. Bull. ent. Res. 12 : 135-163.
- **UVAROV B.P.**, 1923- Quelques problèmes de la biologie des sauterelles. Ann. Epiphyties 9 : 84-108.
- **UVAROV, B.P.** 1936- The oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis*, Meyen 1835). Bulletin of Entomological Research 27 : 91-104; London.
- **UVAROV B.P.**, 1947- The Migratory Locust in England in 1946. Proc. R. ent. Soc. Lond. (A) 22 : 35-7, 1 map. [343].
- **UVAROV B.P.**, 1949- The Migratory Locust in England in 1947 and 1948. Proc. R. ent. Soc. Lond. (A) 24 : 20-5, 1 map. [343].
- **UVAROV B.P.**, 1966- Grasshoppers and locusts. A handbook of general acridology. Vol. 1, anatomy, physiology, development, phase polymorphism, introduction to taxonomy. xi + 481 pp. Cambridge (University Press).
- **UVAROV B.P.**, 1977- Grasshoppers and locusts. A handbook of general acridology. Vol. II : Behaviour, Ecology, Biogeography, Population Dynamics. Centre for Overseas Pest Research. London. 614 pp.
- **UVAROV B.P.** et **HAMILTON A.G.**, 1936- Phase variation and rate of development in the Algerian race of the migratory locust (*Locusta migratoria* L.). Bulletin of Entomological Research 27 : 87-90; London.
- **VAN RIE J.**, **JANSENS S.**, **HÖFTE H.**, **DEGHEELE D.** et **VAN MELLAERT H.**, 1990- Receptors on the brush border membrane of the insect midgut as determinants of the specificity of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxins. Appl. Environ. Microbiol. 56 : 1378-1385.
- **VAN SAMBEEK J.** et **WIESNER A.**, 1999- Successful parasitization of locusts by entomopathogenic nematodes is correlated with inhibition of insect phagocytes. Journal of Invertebrate Pathology 73 (2) : 154-161.
- **VINCENT C.** et **CODERRE D.**, 1992- La lutte biologique. Ed. Gaston Morin, Quebec, 671 pp.
- **VOISIN J.-F.**, 1980- Réflexion à propos d'une méthode simple d'échantillonnage des peuplements d'Orthoptères en milieu ouvert. Acrida 9(4) : 159-170.
- **VOISIN J.-F.**, 1986- Une méthode simple pour caractériser l'abondance des Orthoptères en milieu ouvert. L'entomologiste 42(2) : 113-119.
- **WALOFF N.**, 1940- The distribution and migration of locusts in Europe. Bulletin of Entomological Research 31: 211-246; London.
- **WELLING M.**, **ZELAZNY B.**, **SHERER R.** et **ZIMMERMAN G.**, 1995- First record of the entomopathogenic fungus *Sorosporrella* sp (Deuteromycotina, Hyphomycetes) in *Locusta migratoria* (Orthoptera, Acrididae) from Madagascar. Biocontrol Science Technology 5 : 465-474.
- **WELLING M.** et **ZIMMERMANN G.**, 1997- *Sorosporrella* sp., a fungal pathogen of the migratory locust, *Locusta migratoria capito*, in Madagascar. In: New Strategies in Locust Control (eds. S. Krall, R. Peveling, D. Ba Diallo), Birkhäuser Verlag, Basel, p. 243-245.
- **WILLEMSE, C.**, 1929- *Locusta migratoria* L. phase *danica* L. in Nederland. Natuurhistorisch Maandblad 18 : 91-92; Maastricht.
- **WINTREBERT D.**, 1970- Identité, écologie et comportement du criquet migrateur dans le sud-ouest Malgache. Annales de la Société Entomologique de France 6 : 35-152; Paris.
- **WINTREBERT D.**, 1972- Nouvelles contributions à l'étude des Acridoidea Malgaches. Annales du Musée Royal de l'Afrique Centrale, ser. in 8°, Sc. Zool. 198 : 1-129; Tervuren.
- **WOODHEAD S.**, 1982- Leaf surface chemicals of seedling sorghum and resistance to *Locusta migratoria*. Proceedings of the 5th International Symposium on Insect-Plant Relationships, Wageningen, the Netherlands, 1-4 March 1982 (edited by Visser JH; Minks, AK): 375-376.
- **WOODHEAD S.** et **BERNAYS E.A.**, 1978- The chemical basis of resistance of *Sorghum bicolor* to attack by *Locusta migratoria*. Entomologia Experimentalis et Applicata 24 : 123-144.
- **YOUNSI M.**, 1991- Inventaire de la faune invertébrée dans quelques stations au niveau du Parc National de Chréa et en Mitidja, en particulier la faune orthoptérologique. Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach.
- **ZAKHAROV L.Z.**, 1926- The reasons for the outbreak of the Migratory Locust in the North Caucasus in 1926. Izv. sev. kavkaz, kraev, Sta. Zashch. Rast. 2 : 92-102, 1 carte.
- **ZELAZNY B.**, **GOETEL M.S.** et **KELLER B.**, 1997- The potential of bacteria for the microbial control of grasshoppers and locusts. Memoirs of the Entomological Society of Canada 171 : 147-156.
- **ZERGOUN Y.**, 1991- Contribution à l'étude bioécologique des peuplements orthoptérologiques dans la région de Ghardaïa. Thèse Ing., Inst. Nat. Agro., El Harrach, 73 pp.
- **ZERGOUN Y.**, 1994 - Bioécologie des orthoptères dans la région de Ghardaïa. Régime alimentaire d'*Acrotylus patruelis* ((Haerrich-Schaeffer, 1838) (Orth. Acrididae). Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 110 pp.
- **ZERGOUN Y.** et **BOUROUH S.**, 2002- Spectre alimentaire de *Locusta migratoria* (Linné, 1758) dans la région de Oued Zenati (Guelma). Recueil des actes de la IV journée d'Acridologie, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 4 mars 2002, pp : 27-30.

- **ZERROUKI Z.**, 1996- Contribution à l'inventaire des plantes spontanées. Effort à leur utilisation éventuelle en médecine traditionnelle par la population à Ouargla. Thèse Ing. Inst. Tech. Agron. Sahar., Ouargla, 86 pp.
- **ZIMMERMAN S.B., SCHWARTZ C.D., MONAGHAN R.L., PLEAK B.A., WEISSBERGER B., GILFILLAN E.C., MOCHALES S., HERNANDEZ S., CURRIE S.A., TEJERA E. et STAPLEY E.O.**, 1987- Difficidin and oxydifficidin : novel broad spectrum antibacterial antibiotics produced by *Bacillus subtilis*. J. Antibiotics 40(12) : 1677-1681.
- **ZIMMERMAN G., ZELAZNY B., KLESPIGS R. et WELLING M.**, 1994- Biological control of African locusts by entomopathogenic micro-organisms. In new trends in locust control, pp : 127-138, ed. Skrall. H. Wilps, Eschborn, Germany, 182 pp.
- **ZOLOTAREVSKY B.N.**, 1930- Le Criquet migrateur (*Locusta migratoria capito*, Sauss.) à Madagascar. Anns Epiphyt. 15 : 185-236.
- **ZOLOTAREVSKY B.N.**, 1933- Contribution à l'étude biologique du Criquet Migrateur (*Locusta migratoria capito*, Sauss.) dans des foyers permanents. Anns. Epiphyt. 19 : 47-142.
- **ZOLOTAREVSKY B.N.**, 1934- Aire grégarigène et facteurs de transformation de la phase solitaire des Acridiens migrants dans la phase grégaire. Proc. IIIrd Intern. Locust. Conf., London, pp. 62-66.
- **ZOLOTAREVSKY B.N.**, 1954- History of the International Organisation for Control of the African Migratory Locust. *Locusta* 1 : 1-27; 3 cartes, 8 fig.

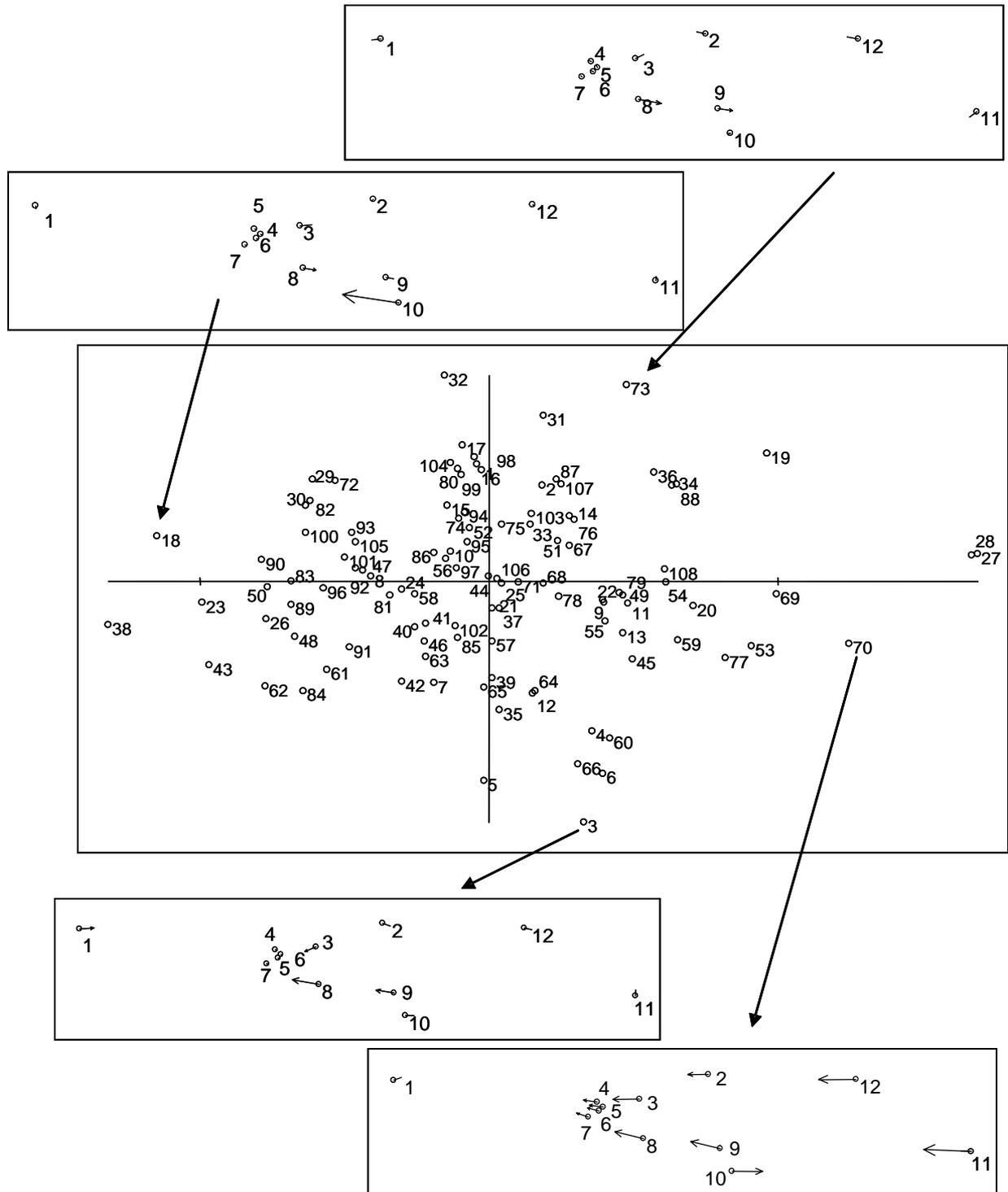




Annexe 1. Classification hiérarchique de l'acridofaune obtenue à partir du moment centroïde d'ordre 2 des projections des espèces sur l'A.C.P. La ligne interrompue indique le niveau de troncature retenu pour définir les différents groupes de Caelifères. Le code des espèces est construit en considérant la première lettre du nom de genre et les deux ou trois premières lettres du nom d'espèce. Par exemple, la première espèce citée, codée Aruf, correspond à *Acanthacris ruficornis*. Pour le détail des noms, se rapporter au tableau 32 pages 74-75.



Annexe 2. Climagrammes des groupes de Caelifères. Les numéros en haut à gauche de chaque graphe se rapportent à chacun des groupes de Caelifères définis dans la table 32 et l'annexe 1.



Annexe 3. Projections des élytres sur les deux 1<sup>ers</sup> axes de flexion relative. Les 4 cartouches situ és au dessus et au dessous du graphe (voir fig. 54 page 97) indiquent les déplacements des différents points de repère (PR) par rapport à l'individu consensus. Les PR sont définis à la figure 53 page 96.

## RESUME

*Locusta migratoria* ssp. *cinerascens* a manifesté récemment des pullulations dans des périmètres irrigués du Sahara central algérien. Le cycle comprend trois générations. La 1<sup>ère</sup> se développe sur les céréales d'hiver et se caractérise par une forte variation temporelle de son sexe-ratio et par un stress de développement (asymétrie fluctuante des élytres). Les 2<sup>nde</sup> et 3<sup>ème</sup> se rencontrent sur sorgho et dans des maraîchages et ont un sexe-ratio plus équilibré et peu d'asymétrie fluctuante. L'étude des régimes alimentaires révèle l'originalité des L5 par rapport aux L4 et aux adultes. Les expériences de croissance sur le blé, le sorgho et des graminées adventices rendent compte des anomalies de croissance des populations développées sur le blé. Pour lutter contre ce ravageur, nous préconisons sur le terrain un désherbage des champs. En laboratoire, nous avons comparé l'efficacité de trois souches de *B. subtilis* sur le TL50 des L5, la croissance et la résorption des ovocytes des adultes. La Cry-toxine Cry1 de *B. thuringiensis* a un effet limitant sur la croissance des larves. Enfin, le neuropeptide-F extrait du Doryphore perturbe le fonctionnement ovarien.

**Mots clés :** *Locusta migratoria*, Sahara, Algérie, asymétrie fluctuante, sexe-ratio, cycle, lutte alternative, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, Cry-toxines, neuropeptide-F.

*Locusta migratoria* ssp. *cinerascens* have spread recently in irrigated perimeters in the Central Algerian Sahara. The cycle comprises three generations. The first one is developed on winter cereals and is characterised by a drastic temporal variation of its sex ratio and a development stress evidenced by the fluctuating asymmetry of tegmina. The second and third ones grow on *Sorghum vulgare* fields and vegetable gardens and show a balanced sex ratio and a low level of fluctuating asymmetry. The diet study revealed the originality of the L5 (fifth instar larvae) from the L4 and adults. The experiments of growth with different species of Poaceae given as food supply shed a light on the growth abnormality of populations developed on *T. durum*. To control this insect pest, we recommend at the field level a careful weeding. At the laboratory level, we have tested the efficiency of three strains of *B. subtilis* on the LT50 in L5, and on the development and resorption of oocytes in adults. *B. thuringiensis* Cry1-toxin shows a limiting effect on larvae growth. Finally, the neuropeptide-F extracted from *Potato beetle* disturbs ovarian physiology.

**Key words:** *Locusta migratoria*, Sahara, Algeria, fluctuating asymmetry, sex ratio, cycle, alternative control, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, Cry-toxins, F-neuropeptide.

### Titre en anglais

Quantitative researches on the Migratory Locust *Locusta migratoria* (Orthoptera, Oedipodinae) in the Central Algerian Sahara. Perspectives in the biocontrol using pathogenous microorganisms and synthetic peptides.