

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach - Alger

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat

En Sciences Agronomiques

THEME :

La dynamique des populations du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forsk. 1775) dans ses aires grégarigènes du sud algérien. Apport des données historiques et satellitaires pour améliorer la prévision des pullulations.

Présenté par: Mr. LAZAR Mohammed

Devant le Jury composé de:

Doumandji Salaheddine	Président	Professeur (E.N.S.A. El Harrach)
Doumandji- Mitiche Bahia	Directeur de thèse	Professeur (E.N.S.A. El Harrach)
Lecoq Michel	Co-Directeur de thèse	Dr.Sc., Directeur de recherche (CIRAD, France)
Guendouz Benrima Atika	Examineur	Professeur (E.N.E.S. Blida)
Sahir-Halouane Fatma	Examineur	Professeur (Unvi. Boumerdes)
Hammache Mouloud	Examineur	Maître de conférences (E.N.S.A El Harrach)

Soutenu le 5 mars 2015

DEDICACE

À la mémoire de mon père,

À ma chère mère,

À ma femme, mes enfants et mes beaux parents,

À mes sœurs, frères et leurs enfants,

Je dédie ce travail

Remerciements

La présente étude sur « *La dynamique des populations du criquet pèlerin dans ses aires grégarigènes du sud algérien. Apport des données historiques et satellitaires pour améliorer la prévision des pullulations* » a été réalisée sous la direction de Madame le Professeur B. DOUMANDJI-MITICHE à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie d'El Harrach (ENSA) et de Monsieur M. LECOQ, Dr.Sc., ancien directeur de l'unité de recherche « Ecologie et maîtrise des populations d'acridiens » du Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement de Montpellier, France (CIRAD), ancien président de la Société internationale des Orthoptéristes.

Je voudrais tout d'abord leur adresser toute ma gratitude et mes profonds remerciements pour avoir bien voulu m'encadrer, pour leur patience, leur disponibilité, l'intérêt apporté à ce travail et pour leurs judicieux conseils.

Je désire également remercier vivement Monsieur le Professeur S. DOUMANDJI de l'ENSA d'El Harrach, pour l'honneur qu'il me fait de présider le Jury.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à Mesdames A. GUENDOOUZ-BENRIMA, Professeur à l'Université de Blida, et F. HALOUANE, Docteur, Maître de conférences à l'Université de Boumerdès, ainsi que Monsieur A. HAMMACHE, Docteur, Maître de conférences à l'ENSA pour avoir accepté d'examiner mon travail.

La réalisation de cette thèse a été possible grâce au concours de plusieurs autres personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Tout d'abord, Monsieur K. MOUMENE, Directeur Général de l'INPV, pour son soutien indéfectible le long de la préparation de cette thèse.

Monsieur M. L. HAMOUNI, Secrétaire exécutif de la CLCPRO /FAO et les Responsables du groupe acridiens de la FAO siège pour leur soutien moral et financier.

Monsieur T. BENHALIMA, ex Secrétaire exécutif de la CLCPRO, pour son aide précieuse dans la préparation et le financement de mon projet de recherche.

Monsieur C. Piou du CIRAD, pour son aide précieuse relative aux analyses statistiques et à l'interprétation des résultats.

Monsieur P. Ceccato, Chercheur à l'université de Columbia, États-Unis, pour son aide relative aux données satellitaires et ses précieux conseils.

Un grand merci également à Messieurs B. CHARA, E. GUENDEZ, T. NEZZAL et S. ZITOUNE pour leur aide précieuse.

Je souhaite aussi rendre hommage aux anciens et actuels prospecteurs antiacridiens qui ont travaillé dans les conditions difficiles du sud algérien et qui ont permis au département de lutte antiacridienne de l'Institut National de la Protection des Végétaux d'être à la tête d'une très riche base de données acridiennes et écologiques ayant servi de support à la présente étude.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues, en particulier les cadres du Département de lutte antiacridienne qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Mohamed LAZAR

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	11
Chapitre 1: Le criquet pèlerin et l'Algérie face au fléau	14
1.1. Le criquet pèlerin : problématique, bio-écologie et stratégie de lutte	14
1.1.1: Problématique du criquet pèlerin en Algérie.....	14
Encadré 1 – L'importance économique des acridiens.....	17
1.1.2: Biologie et écologie du criquet pèlerin.....	18
1.1.2.1: Biologie.....	18
1.1.2.2: Polymorphisme de phase.....	20
Encadré 2 – Les acridiens et le polymorphisme phasaire : quelques définitions.....	22
1.1.2.3: Aires d'habitat du criquet pèlerin	23
1.1.2.4: Processus de grégarisation.....	24
1.1.2.5: Principaux facteurs écologiques influant sur la grégarisation	25
1.1.2.5.1: Les facteurs biotiques	26
1.1.2.5.2 : Facteurs abiotiques	27
1.1.2.5.3: Facteurs anthropiques	28
1.1.2.5.4 : Facteurs écologiques clés pour le criquet pèlerin dans les régions désertiques du sud algérien : pluies et végétation	28
1.1.2.5.4.1 : Les pluies dans les zones arides du sud algérien	28
Pluies cycloniques méditerranéennes.....	28
Pluies cycloniques sahariennes -	29
Pluies de mousson.....	29
1.1.2.5.4.2 : La végétation des zones arides du sud algérien.....	30
Reliefs.....	32
Plaines	32
1.1.3 : Stratégie et méthodes de lutte contre le criquet pèlerin.....	36
1.1.3.1: La stratégie de lutte préventive contre le criquet pèlerin	36

1.1.3.2: Les méthodes de lutte contre les acridiens	38
1.1.3.3 : Les progrès récents en matière de méthodes de lutte contre les acridiens.....	39
1.1.3.4 : Les recherches en cours pour améliorer la stratégie de prévention.....	39
1.2.Le criquet pèlerin en Algérie.....	41
1.2.1: Historique des invasions et de l'organisation de la lutte	41
1.2.1.1: Les invasions de criquets pèlerins en Algérie.....	41
1.2.1.1.1: Avant la conquête de l'Algérie	41
1.2.1.1.2: De la conquête de l'Algérie à l'indépendance.....	42
1.2.1.1.3: Après l'indépendance.....	43
1.2.1.2: L'organisation de la lutte acridienne en Algérie	44
1.2.1.2.1: La lutte antiacridienne durant l'époque coloniale	44
1.2.1.2.2: La lutte antiacridienne après l'indépendance.....	46
1.2.1.2.3 : Cadre juridique actuel de la lutte antiacridienne.....	47
1.2.2: Stratégie et organisation actuelle de la lutte antiacridienne	48
1.2.2.1 : La stratégie de lutte antiacridienne en Algérie	48
1.2.2.1.1 : Les fondements de la stratégie de lutte contre le criquet pèlerin.....	48
1.2.2.1.1: Stratégie de lutte antiacridienne en période de rémission	49
1.2.2.1.2: Stratégie de lutte en période d'invasion.....	50
1.2.2.2: La veille météorologique	50
La veille météorologique en période de rémission :	51
La veille météorologique en période d'invasion :	51
1.2.2.2.3 : Utilisation de la télédétection	53
1.2.2.3: Le dispositif de surveillance et de lutte.....	54
1.2.2.3.1: Historique.....	54
1.2.2.3.2: Configuration actuelle du dispositif de surveillance et de lutte en rémission et en invasion	54
1.2.3: Exemple de l'invasion 2003-2005.....	56
1.2.3.1 : Historique générale de l'invasion de 2003-2005.....	56

1.2.3.1.1: Evolution de la situation acridienne en Algérie durant l'année 2003.....	56
1.2.3.1.2: Evolution de la situation acridienne en Algérie durant l'année 2004.....	57
1.2.3.1.3: Evolution de la situation acridienne en Algérie durant l'année 2005.....	57
1.2.3.2: Organisation de la lutte durant l'invasion de 2003-2005.....	59
1.2.3.2.1: Cadre juridique.....	59
1.2.3.2.2: Organisation de la lutte au niveau central.....	59
1.2.3.2.3: Organisation de la lutte au niveau régional.....	60
1.2.3.2.4: Organisation du dispositif de lutte.....	61
1.2.4.1. Délimitation plus précise des aires grégarigènes.....	64
1.2.4.2: Amélioration de la surveillance et de l'alerte précoce contre le criquet pèlerin.....	65
1.2.4.3 : Utilisation de la télédétection dans la surveillance des biotopes.....	66
Chapitre 2: Matériels et méthodes.....	68
2.1: Matériel.....	68
2.1.1. Les données.....	68
2.1.1.1: Données acridiennes historiques.....	68
2.1.1.2: Données météorologiques.....	68
2.1.1.2.1: Données météorologiques du réseau historiques.....	68
2.1.1.2.2: Données météorologiques estimées par télédétection spatiale.....	68
2.1.1.3: Fonds cartographiques.....	69
2.1.1.4: Données satellitaires.....	69
2.1.1.4.1: Image LandSat ETM+.....	69
2.1.1.4.2 : Images TERRA MODIS.....	72
2.1.1.5: Données sur l'humidité du sol.....	73
2.1.1.6: Données sur le régime alimentaire du criquet pèlerin.....	74
2.1.2: Les logiciels.....	74
2.1.2.1: Système d'information géographique RAMSES de la FAO.....	74
2.1.2.2: Logiciels de traitement d'images.....	75
2.1.2.3: Logiciels d'analyses statistiques.....	75

2.1.2.3.1: Logiciel R.....	75
2.1.2.3.2: Logiciel SYSTAT	75
2.2: Méthodes	76
2.2.1: Organisation des données de terrain.....	76
2.2.1.1: Collecte des données	76
2.2.1.2: Saisie et structuration des données acridiennes	76
2.2.1.3: Fiabilité des données historiques acridiennes utilisées.....	76
2.2.2: Classification et cartographie des zones de reproduction.....	78
2.2.2.1: Classification des zones de reproduction.....	78
2.2.2.2 : Cartographie des zones de reproduction.....	78
2.2.3: Etude du régime alimentaire.....	80
2.2.4.1: Méthode d'analyse des contenus digestifs.....	80
2.2.4.2: Préparation des épidermes de référence	80
2.2.4.3: Préparation des fèces.....	81
2.2.4 : Mesure de l'humidité du sol.....	81
2.2.5: Les analyses statistiques.....	82
2.2.6: Les zones d'étude	83
2.2.6.1: Grandes zones d'habitat du criquet pèlerin en Algérie durant les rémissions	83
2.2.6.1.1: La région du Hoggar	83
2.2.6.1.2: La région de la Saoura (Béchar et Tindouf).....	86
2.2.6.1.3: La région de l'extrême sud.....	86
2.2.6.1.4: La région d'Adrar.....	87
2.2.6.1.5 : La région du Tassili N'Ajjer (Illizi et Djanet).....	88
2.2.6.2 : Délimitation des zones d'études	89
2.2.6.3 : La zone d'étude pilote du Hoggar	91
Chapitre 3 : Résultats	92
3.1: Distribution du criquet pèlerin en Algérie.....	92
3.1.1: Spatialisation des populations acridiennes par phase.....	92

3.1.1.1: Spatialisation observée	92
3.1.1.1.1: Ailés grégaires.....	92
3.1.1.1.2: Larves grégaires	93
3.1.1.1.3: Ailés transiens	93
3.1.1.1.4: Larves transiens.....	94
3.1.1.1.5: Ailés solitaires.....	95
3.1.1.1.6: Larves solitaires.....	96
3.1.1.2: Spatialisation mensuelle de la présence des solitaires et des transiens.....	97
3.1.2: Cartographie des zones de reproduction des solitaires et des transiens	104
3.1.2.1: Chronologie des événements acridiens en Algérie 1965-2008.....	104
3.1.2.1.1 : Ailés et larves grégaires.....	104
3.1.2.1.2 : Ailés et larves transiens.....	106
3.1.2.1.3 : Ailés et larves Solitaires.....	107
3.1.2.2: Délimitation des zones de reproduction des solitaires.....	108
3.1.2.2.1: Délimitation des zones de reproduction observées des solitaires	108
3.1.2.2.3: Carte globale des zones de reproduction observées et potentielles des solitaires	112
3.1.2.3: Délimitation des zones de ponte des femelles transiens.....	114
3.1.2.3.1: Délimitation des zones de reproduction observées des transiens	114
3.1.2.3.2: Délimitation des zones de reproduction potentielles des transiens	117
3.1.3: Caractérisation des zones de ponte des solitaires.....	121
3.1.3.1: Positionnement des zones de reproduction	121
3.1.3.2: Identification des lieux de prédilection pour la ponte.....	123
3.1.3.2.1 : L'analyse d'images satellitaires Landsat 7 ETM+ et Modis	123
3.1.3.2.2 : Les lieux de ponte.....	128
3.2: Dynamique des populations du criquet pèlerin au niveau de ses zones de reproduction.....	135
3.2.1: Périodes de reproduction des solitaires et les transiens.....	135
3.2.2: Périodes de la dominance des différents stades.....	136
3.2.2.1: Les ailés solitaires matures et immatures.....	136

3.2.2.2: Les ailés transiens matures et immature	137
3.2.2.3: Les ailés grégaires matures et immatures.....	139
3.2.1.2: Cycles de développement larvaires des solitaires et les transiens	140
3.2.1.2.1: Les solitaires	140
3.2.1.2.2: Les transiens.....	141
3.3: Conditions écologiques et criquet pèlerin dans les zones de reproduction du sud algérien	143
3.3.1: Le régime pluviométrique	143
3.3.1.1: Au niveau du Hoggar	143
Tamanrasset	143
Assekrem	143
3.3.1.2: Au niveau de In Salah	144
3.3.1.3: Au niveau d'Adrar.....	145
3.3.1.4: Au niveau de Béchar.....	145
3.3.1.5: Au niveau d'Illizi	146
3.3.1.6: Au niveau de Djanet	146
3.3.1.7: Au niveau de Tindouf	147
3.3.2 : La végétation rencontrée au cours des opérations de surveillance et de lutte	147
3.3.3: Etude approfondie d'une zone pilote dans le Hoggar	151
3.3.3.1: Le régime pluviométrique du Hoggar	151
3.3.3.1.1: Station de Tamanrasset.....	151
3.3.3.1.2: Station de l'Assekrem	152
3.3.3.2. La végétation du Hoggar	152
3.3.3.2.1 : Les espèces végétales et leur développement.....	152
3.3.3.2.2 : Végétation et régime alimentaire du criquet pèlerin dans le Hoggar	157
3.3.3.3. L'humidité du sol dans la zone pilote du Hoggar	160
3.3.3.3.1 : Caractéristiques granulométriques des stations de l'Oued Ameded	160
3.3.3.3.2 : Suivi de l'humidité du sol	160
3.3.4 : Conditions écologiques et criquet pèlerin à l'échelle du sud algérien	165

3.3.4.1 : Objectif.....	165
4. Discussion.....	173
Conclusion et perspectives.....	178
Références bibliographiques	180
ANNEXES.....	189
Annexe 1: Historique de la lutte antiacridienne en Algérie.	190
Annexe 2: Décrets, lois, circulaires et instructions relatifs à la lutte antiacridienne en Algérie.	192
Annexe 3: Dégâts du criquet pèlerin sur cultures.....	200
Annexe 4: Champs de pontes et œufs du criquet pèlerin.....	202
Annexe 5: Stations d'étude des oueds Amded et Tikouiat (Tamanrasset).....	203
Annexe 6: Mesure de l'humidité du sol.	209
Annexe 7 : Manuscrit 1 publié dans « Advances in Entomology ».....	210

Tables des illustrations

Figures

Figure 1 : Criquet pèlerin (imago solitaire) (photo M. Lazar, INPV, 2011).	15
Figure 2 : Dégâts sur abricotier à Tiaret, Algérie (photo M. Lazar, 2004).....	16
Figure 3 : Historique des périodes d'invasion et de rémission du criquet pèlerin (modifié d'après Magor et al 2008).	16
Figure 4 : Le criquet pèlerin.	19
Figure 5 : Représentation schématique du cycle de transformation phasaire (Uvarov, 1923).	21
Figure 6 : Aire d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin dans le monde (d'après Duranton et Lecoq, 1990, modifié).	23
Figure 7 : Limites des aires d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin, et localisation des aires grégaires (d'après Sword et al. 2010).	23
Figure 8 : Une partie d'un essaim du criquet pèlerin posé sur palmier (Photo : Direction agricole de la wilaya de Tamanrasset, octobre 2004).	25
Figure 9 : La morphologie typique d'une zone désertique (d'après Reynard , 2004).	33
Figure 10 : Nombre d'années d'invasion et de recrudescences depuis 1830.	44
Figure 11 : Nombre d'essaims par degré carrés et par mois depuis 1930 (Lecoq, 2010).	44
Figure 12 : Réseau des stations météorologiques de l'ONM exploité pour la surveillance du criquet pèlerin.....	52
Figure 13 : Chronologie de l'invasion de juin 2003 à mai 2005 (source FAO/DLIS ; modifié d'après Lecoq 2005).	58
Figure 14 : Emplacement des fronts et wilayas.....	61
Figure 15 : Aspect extérieur de LANDSAT 7 (d'après NASA).	70
Figure 16 : MODIS (or Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) is a key instrument aboard the Terra (EOS AM) and Aqua (EOS PM) satellites.....	73
Figure 17 : Instrument de mesure de l'humidité de sol.	74
Figure 18: Les différentes régions d'étude.	89
Figure 19 : Différentes zones d'étude : Tamanrasset, Assekrem, Bordj Badji Mokhtar, In Guezzam, Djanet, Illizi, Adrar, Timimoune, Béchar et Tindouf.....	90
Figure 20 : La zone d'étude pilote au niveau du Hoggar.	91
Figure 21 : Répartition des ailés grégaires durant les périodes de fortes activités acridiennes.....	92
Figure 22 : Répartition des larves grégaires durant les périodes de fortes activités acridiennes.....	93
Figure 23 : Répartition des ailés transiens durant les périodes de recrudescence.	94
Figure 24 : Répartition des larves transiens durant les périodes de recrudescence.	95
Figure 25 : Répartition des ailés solitaires durant les périodes de rémission.	96
Figure 26 : Répartition des larves solitaires durant les périodes de rémission.	97
Figure 27 : Probabilité de présence des solitaires et des transiens durant le mois de janvier.	98
Figure 28 : Probabilité de présence des solitaires et des transiens durant le mois de février.....	99
Figure 29 : Probabilité de présence des solitaires et des transiens durant le mois de mars.....	99
Figure 30 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois d'avril.....	100
Figure 31: Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de mai.	100
Figure 32 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de juin.	101
Figure 33 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de juillet.	101
Figure 34: Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois d'août.	102
Figure 35 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de septembre.....	102
Figure 36 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois d'octobre.....	103

Figure 37 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de novembre.	103
Figure 38 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de décembre.	104
Figure 39 : Nombre de mois des années dominés par la présence des grégaires.	105
Figure 40 : Nombre de signalisations mensuelles des ailés et larves grégaires.	105
Figure 41 : Nombre de mois concernés par la présence des transiens.	106
Figure 42 : Nombre de Signalisations mensuelles des ailés et larves transiens.	106
Figure 43 : Nombre de mois concernés par la présence des solitaires.	107
Figure 44 : Nombre de signalisations mensuelles des ailés et larves solitaires.	107
Figure 45 : Répartition des femelles solitaires en ponte durant les périodes de rémission.	108
Figure 46 : Répartition par wilaya des quarts de degrés carrés classés.	110
Figure 47 : Fréquences annuelles des reproductions des solitaires par quart de degré carré.	110
Figure 48 : Traitements réalisés durant les périodes de rémission.	111
Figure 49 : Répartition de traitements réalisés durant les périodes de rémission.	112
Figure 50 : Nombre de quarts de degrés carrés par classe et par wilaya.	113
Figure 51 : Carte globale des zones de reproductions observées.	114
Figure 52 : Positionnement des femelles transiens en positions de ponte.	115
Figure 53 : Nombre de quarts de degrés carrés abritant les femelles transiens en ponte par wilaya.	116
Figure 54 : Zones de reproduction des femelles transiens par quart degré carré.	121
Figure 55 : Superficies traitées par wilaya durant les périodes des recrudescences.	118
Figure 56 : Traitements réalisés en périodes de recrudescences.	119
Figure 57 : Nombre de quarts de degrés carrés par classe et par wilaya.	120
Figure 58 : Zones de reproduction potentielles des transiens.	121
Figure 59 : Positionnement des lieux de ponte par rapport aux massifs montagneux.	122
Figure 60 : Image Landsat ETM+ en composition colorée (4,3,2).	124
Figure 61 : ACP (6 nouveaux canaux) de l'image Landsat ETM+.	125
Figure 62 : Equidensité (density slice) de l'ACP 6.	126
Figure 63 : Composition colorée de l'image Modis (RGB).	127
Figure 64 : ACP Image Modis.	127
Figure 65 : Density slice ACP3 Image Modis.	127
Figure 66 : Positionnement des lieux de pontes potentiels sur carte d'Etat Major.	128
Figure 67 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région du Hoggar.	129
Figure 68 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région de Béchar.	129
Figure 69 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région de l'extrême Sud.	130
Figure 70 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région du Mouydir.	131
Figure 71 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région d'Ilizi.	132
Figure 72 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région de l'Ahnet.	133
Figure 73 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région d'Adrar.	134
Figure 74 : Les mois de reproduction des solitaires et des transiens.	136
Figure 75 : Les mois de fortes présences des ailés solitaires.	137
Figure 76 : Mois de forte présence des ailés transiens.	138
Figure 77 : Mois de forte présence des ailés grégaires.	139
Figure 78 : Ponte et développement larvaires chez les solitaires.	141
Figure 79 : Pontes et développement larvaires chez les transiens.	142
Figure 80 : Moyenne mensuelle des pluies à Tamanrasset.	143
Figure 81 : Moyenne mensuelle des pluies à Assekrem (Hoggar).	144
Figure 82 : Moyenne mensuelle des pluies à In Salah.	144
Figure 83 : Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Adrar.	145

Figure 84 : Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Béchar.	145
Figure 85 : Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Illizi.....	146
Figure 86 : Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Djanet	146
Figure 87 : Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Tindouf.	147
Figure 88 : Nombre d'espèces végétales rencontrées dans le sud algérien.	149
Figure 89 : Végétation dans l'oued Amded, en 2013, dans sud algérien.	150
Figure 90 : Périodes de pluies au niveau de la station de Tamanrasset (Hoggar).	151
Figure 91 : Périodes de pluies au niveau de la station de l'Assekrem (Hoggar).	152
Figure 92 : Nombre d'espèces végétales par station au niveau de l'oued Amded.	153
Figure 93 : Durée de développement de la végétation annuelle dans l'oued Amded.....	155
Figure 94 : Nombre d'espèces végétales par station au niveau de l'oued Tikouiat	155
Figure 95 : Développement de la végétation annuelle au niveau d'oued Tikouiat.	157
Figure 96 : Espèces végétales consommées par le criquet pèlerin dans l'oued Arak.....	158
Figure 97 : Espèces végétales consommées au niveau d'Oued Amded.	159
Figure 98 : Evolution de l'humidité de sol au niveau de l'oued Amded.....	162
Figure 99 : Evolution de l'humidité de sol au niveau d'oued Tikouiat.	165
Figure 100 : Carte présentant les trois régions du Sud de l'Algérie considérées dans l'étude.....	167
Figure 101 : Séries temporelles des données utilisées dans l'étude pour les trois régions.....	170
Figure 102 : Résumé des corrélations significatives entre les nombres d'observations de solitaires (S) et de transiens (T) des trois régions considérées.	171

Tableaux

Tableau 1: Superficies traitées par wilaya durant l'invasion 2004/2005.....	63
Tableau 2: Différentes générations de la série LANDSAT.....	71
Tableau 3: Caractéristiques de l'image satellitaire ETM+	72
Tableau 4 : Résultats de l'analyse de la variation temporelle de la reproduction des femelles.....	135
Tableau 5: Résultats de l'analyse de la variation temporelle de la présence ailés solitaires	137
Tableau 6 : Résultats de l'analyse de la variation temporelle des ailés transiens.....	138
Tableau 7: Résultats de l'analyse de la variation temporelle des ailés grégaires.	139
Tableau 8 : Différentes espèces végétales colletées au niveau du sud algérien lors des prospections acridiennes entre 1965 et 2013.....	148
Tableau 9: Espèces végétales rencontrées dans l'oued Amded (1 à 6, différentes stations).	153
Tableau 10: Espèces végétales rencontrées dans l'oued Tikouiat.....	156
Tableau 11: Fréquence relative des espèces consommées par le criquet pèlerin dans l'oued Arak.....	158
Tableau 12: Fréquences relatives des espèces consommées par le criquet pèlerin dans l'oued Amded.	159
Tableau 13 : Caractéristiques granulométriques des stations oued Amded.	160
Tableau 14. Matrice de corrélation de Spearman (rang) entre les variables considérées dans l'étude.....	171

Introduction

Le Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) est un insecte très redouté en raison de l'ampleur des dégâts qu'il peut infliger aux productions agricoles et des perturbations socio-économiques qui peuvent en résulter. Les conséquences de ses invasions peuvent être désastreuses pour les politiques d'autosuffisance alimentaire de nombreux Etats des régions touchées. De plus, les quantités considérables d'insecticides chimiques généralement utilisées pour les opérations de lutte peuvent entraîner de graves préjudices à l'environnement (Brader *et al.* 2006). C'est respectivement 26 et 13 millions d'hectares qui ont dû être traités pour arriver à maîtriser les deux dernières invasions de 1987-1988 et de 2003-2004 (Lecoq 2005).

Le risque naturel représenté par ces invasions du criquet pèlerin peut être géré efficacement par l'application de stratégies de lutte préventive basée en particulier sur la surveillance des zones à risque, les aires grégarigènes (Magor *et al.* 2008 ; Sword *et al.* 2010). Ce sont évidemment les conditions écologiques qui sont « grégarigènes » et non ces aires en elles même (van Huis 2007), mais c'est en leur sein que les conditions favorables aux départs d'invasions sont le plus fréquemment rencontrées. Parallèlement et progressivement, les zones à surveiller ont été réduites, passant des 31 M de km² de l'aire d'invasion, aux 15 M de km² de l'aire de rémission puis aux 250000 km² des aires grégarigènes. On est donc passé d'une vaste zone où tout effort pouvait sembler vain, à une zone beaucoup plus petite où la mise en place d'une stratégie préventive devenait envisageable (Sword *et al.* 2010).

Cependant, l'accès à ces territoires, situés en zone saharienne, demeure difficile et les superficies à surveiller restent malgré tout très vastes. La principale préoccupation des unités de lutte contre le criquet pèlerin est d'arriver à effectuer cette surveillance dans le minimum de temps en optimisant les parcours de prospection des équipes au sol (Sidi Benahi 2008).

Le repérage rapide des zones de reproduction (rassemblement des imagos solitaires et maturation sexuelle suite à des conditions écologiques favorables, ponte et développement des larves) est en particulier capital pour avoir une chance d'effectuer des traitements préventifs efficaces avant que les premiers essaims grégaires ne se dispersent (Magor *et al.* 2008).

Le recours aux technologies de télédétection satellitaires a suscité beaucoup d'espoirs depuis une quarantaine d'années pour appuyer la surveillance acridienne (Pedgley 1974; Hielkema 1977, 1991 ; Hielkema *et al.* 1986; Cherlet *et al.* 1991 ; Tucker *et al.* 1985). Les recherches ont porté, non seulement sur le Criquet pèlerin, mais également sur de nombreuses espèces de

criquets ravageurs de par le monde, *Locusta migratoria* (Latchininsky et Sivanpillai 2007), *Chortoicetes terminifera* (Bryceson *et al.* 1993), *Rhammatocerus schistocercoides* (Miranda *et al.* 1994), *Nomadacris septemfasciata* (Franc 2007), etc. On trouvera une revue de ces divers développements dans un article récent de Latchininsky et Sivanpillai (2010). Pour le Criquet pèlerin, ces techniques peuvent en théorie permettre, d'une part de mieux localiser et cartographier les zones potentielles de reproduction et de grégarisation, d'autre part d'identifier en temps réel l'apparition dans ces zones de conditions écologiques devenant propices à la reproduction et précédant les premières grégarisations (pluie, écoulement, développement d'une végétation verte) (Sword *et al.* 2010). A ce jour, cependant, il n'existe aucune application directement opérationnelle basée sur la télédétection spatiale permettant d'orienter au sol les équipes de surveillance de ce criquet (Ceccato *et al.* 2007).

Les principaux objectifs de ce travail sont de fournir de nouveaux éléments pour améliorer le dispositif de lutte préventive contre le criquet pèlerin en Algérie. Nous avons tout particulièrement cherché à préciser le mode de vie de ce ravageur majeur sur la base, d'une part, d'une cartographie actualisée de ses zones potentielles de reproduction en phase solitaire par analyse de nombreuses données d'archives et, d'autre part, d'une analyse du fonctionnement de ses biotopes de reproduction par utilisation de l'imagerie satellitaire.

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous présentons la problématique du Criquet pèlerin en Algérie, sa bio-écologie, la stratégie de lutte en vigueur basée essentiellement sur des actions de prévention et l'historique des invasions et de l'organisation de la lutte contre le Criquet pèlerin en Algérie.

Le deuxième chapitre est consacré aux différents matériels et méthodes utilisés dans cette étude.

La troisième partie traite les résultats relatifs à la spatialisation générale des populations acridiennes en Algérie sur la base de l'analyse de données d'archives originales, en particulier de l'INPV. Ces analyses de données de signalisations acridiennes, associées à des informations sur la topographie, la géomorphologie, la biologie et l'écologie du criquet pèlerin, ont permis de localiser et cartographier les zones de reproduction des solitaires et surtout des transiens, élément fondamental pour toute amélioration de la stratégie de prévention. Aussi, la caractérisation des biotopes de reproduction des solitaires dans les zones les plus importantes, c'est-à-dire celles à fort potentiel de grégarisation et de production de transiens telles qu'elles ont été définies dans le chapitre précédent. Ces zones ont été

cartographiés et leur fonctionnement analysé grâce à l'utilisation de l'imagerie satellitaire de basse, moyenne et haute résolution. Les événements pluviométriques, la redistribution des eaux, le développement des zones favorables à la ponte, le développement de la végétation favorable à l'alimentation des larves ont été pris en compte. Ces éléments ont été analysés dans un système d'information géographique (SIG) permettant de croiser les informations obtenues par des sources diverses et en particulier, pour les pluies et la végétation, par télédétection spatiale. Les périodes de pontes, le régime alimentaire au niveau de deux stations d'étude du Hoggar et la relation entre les conditions écologiques et la présence acridienne ont été étudiés.

Une discussion générale permet d'envisager les applications des résultats obtenus et les améliorations à apporter au dispositif de surveillance et de lutte préventive. Les possibilités de détecter en temps réel les zones de pluies et de végétation favorables au criquet pèlerin dans les zones à fort potentiel de grégarisation sont, en particulier, évaluées.

Chapitre 1: Le criquet pèlerin et l'Algérie face au fléau

1.1. Le criquet pèlerin : problématique, bio-écologie et stratégie de lutte

1.1.1: Problématique du criquet pèlerin en Algérie

Les souvenirs les plus anciens d'une dévastation imputée au criquet pèlerin en Algérie remontent à 125 av. J.C., année durant laquelle une terrible invasion ravagea la Cyrénaïque et la Numidie causant 800.000 morts (Kunckel d'Herculais, 1905). De nombreux documents se rapportant aux invasions en Afrique du Nord en général, et en Algérie en particulier, à partir de la fin du 1^{er} millénaire existent mais ne permettent pas d'attribuer ce qui revient à chacune des deux espèces acridiennes (criquet pèlerin et criquet marocain) pouvant être en cause.

L'une des invasions les plus néfastes fut certainement celle de 1863-1867 qui a engendré, durant la seule année 1866, dans les trois provinces algériennes, de l'époque des pertes estimées à 19.652.981 francs (équivalent à 3 milliards de francs de 1952). Ce chiffre traduit qu'insuffisamment le désastre subi et surtout les conséquences directes sur les populations. La sécheresse de 1867 aidant, cette invasion a déclenché une terrible famine. Le choléra puis le typhus firent des ravages dans les populations. La situation lors de cette année «âm echchar» fut plus que terrible, horrible, et 500.000 victimes furent recensées dans toute l'Algérie. (Kunckel d'Herculais, 1905).

Les invasions les plus récentes de Criquet pèlerin en Algérie sont celles ayant sévit de 1987 à 1989 et de 2004 à 2005. Durant l'invasion 1987/1989, 2.200.000 hectares d'essaims et de bandes larvaires de criquets pèlerins ont été traités, nécessitant l'engagement par l'Algérie de plusieurs milliers de personnes pour l'encadrement et la conduite des opérations de lutte, 62.116.414 dollars US pour l'équipement (véhicules, appareils de traitement, matériels de protection), l'affrètement de 47 aéronefs, l'acquisition de 3.300.000 litres de pesticides, des centaines de véhicules lourds et légers pour la surveillance et la lutte... (Chara, 1997). Pour la dernière invasion de l'Algérie en 2004/2005, une superficie de 4.500.000 Ha a été traitée nécessitant la mobilisation d'une enveloppe financière d'environ 30 milliards de dinars (120 millions de dollars) pour traiter les infestations composées essentiellement d'essaims et de bandes larvaires. Les moyens matériels et financiers utilisés ont permis la protection de la production agricole évaluée durant cette campagne à 3 milliards de dollars US (INPV 2005).

L'espèce responsable de tant de ravages, le Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forsk. 1775) (Figure 1), la 8^{ème} plaie d'Egypte de la Bible, fait partie de la famille des *Acrididae* qui inclut la plupart des criquets à antennes courtes. Au sein de cette famille, les locustes se différencient des autres espèces (communément appelées « sauteriaux ») par leur capacité à changer de comportement, de physiologie, de morphologie et de coloration en réponse à des changements de densité. Selon l'abondance des populations, ces criquets peuvent se présenter sous deux phases différentes : la phase solitaire en basse densité, et la phase grégaire en forte densité. Chez le Criquet pèlerin, les ailés de phase grégaire peuvent former des essaims, contenant jusqu'à des milliards d'individus, et qui se comportent comme unité cohérente (Symmons et Cressman, 2001).



Figure 1 :Criquet pèlerin (imago solitaire) (photo M. Lazar, INPV, 2011).

Le criquet pèlerin est un insecte très redouté en raison de l'ampleur des dégâts qu'il provoque, en période d'invasion, aux productions agro-sylvo-pastorales et des perturbations socio-économiques qui en résultent. En effet, les conséquences de ces invasions peuvent être désastreuses pour les politiques alimentaires de nombreux Etats de la région (Figures 2, 3 et encadré 1). De plus, les quantités considérables d'insecticides généralement utilisées pour les opérations de lutte entraînent des préjudices à l'environnement très loin d'être négligeables.



Figure 2 : Dégâts sur abricotier à Tiaret, Algérie (photo M. Lazar, 2004).

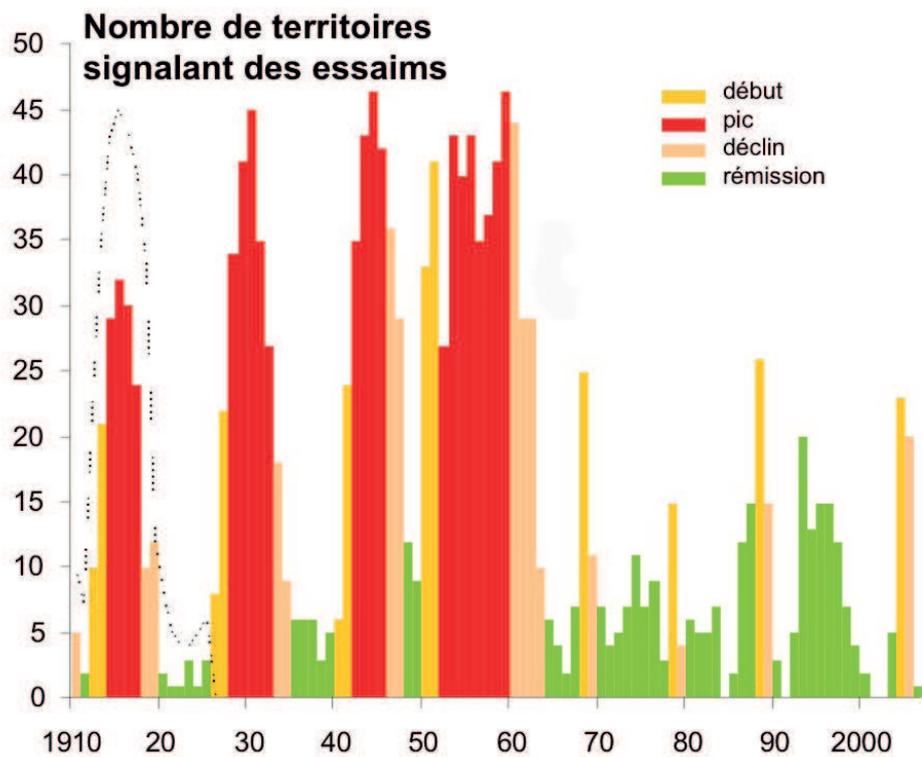


Figure 3 : Historique des périodes d'invasion et de rémission du criquet pèlerin (modifié d'après Magor *et al* 2008).

Encadré 1 –L’importance économique des acridiens.

Le Criquet pèlerin – espèce à impact économique majeur – est sans doute le criquet le plus célèbre de par l’ampleur des ravages qu’il est susceptible d’entraîner au cours de ses périodes d’invasion. Il est mentionné comme la huitième plaie d’Egypte en 1300 avant Jésus-Christ. Depuis lors, on en retrouve de multiples citations, de l’ancien testament jusqu’à l’histoire récente. Ces invasions venues du ciel ont toujours marqué la mémoire collective et furent souvent considérées comme des châtiments divins. De nombreuses histoires, données, témoignages attestent de l’importance économique et sociale du Criquet pèlerin au cours des siècles depuis les temps les plus anciens jusqu’à nos jours. Au niveau local, les pertes aux cultures peuvent être totales en l’espace de quelques heures (FAO 1994, Steedman 1990). Ce criquet a été responsable dans le passé de nombreuses famines, la plus récente étant celle enregistrée en Ethiopie et au Soudan dans les années 1950.

Quand une invasion survient, tous les types de végétaux peuvent être attaqués, cultures annuelles comme cultures pérennes, arboriculture, cultures irriguées... Les criquets n’épargnent aucune plante, à part quelques résineux, le « margousier » ou « neem » (*Azadirachta indica*), et le laurier-rose. Les invasions peuvent se traduire par l’abandon de zones agricoles et des exodes de populations. Les pâturages sont également largement affectés, à la fois par perte de biomasse et diminution de l’appétibilité pour le bétail.

Dans le passé, les dégâts occasionnés par le Criquet pèlerin ont malheureusement rarement été estimés avec précision. Cependant, quelques chiffres peuvent donner une idée de l’ampleur du phénomène. En Algérie, en 1866, les pertes ont été estimées à 19.652.981 francs (équivalent de 52 millions d’euros actuels) et à 4,5 millions de livres en une seule saison au Maroc en 1954-55. En 1941, les criquets ont totalement détruit un million de pieds de vigne en Libye, 55.000 tonnes de céréales en 1954 au Soudan, 16.000 tonnes de mil au Sénégal en 1951.

Lors de l’avant dernière invasion de 1987-89 en Mauritanie, les pertes ont été estimées approximativement à 60% sur 200.000 hectares de pâturages attaqués, à 70% de 200.000 ha de cultures pluviales et à 50% de 400.000 ha de cultures irriguées. Au Niger, ces pertes ont été estimées à 50% sur un million d’hectares de pâturages et à 343% sur 12.000 ha de cultures irriguées. Au Mali, les pertes à la même période ont été estimées entre 65 et 90% sur 700.000 ha de pâturages, entre 5 et 75% sur 300.000 ha de cultures pluviales, entre 85 et 100% sur 550 de cultures maraîchères et à 35% sur 200 ha d’arboriculture (FAD 2003). De tels dégâts ont également été enregistrés lors de la dernière invasion, en 2003-2005, en Afrique.

Au total, pour lutter contre les deux dernières invasions du Criquet pèlerin, les pays affectés et la communauté internationale des pays donateurs ont dépensés environ un milliard d’euros (600 millions en 1987-89 et 400 en 2003-2005).

1.1.2: Biologie et écologie du criquet pèlerin

1.1.2.1: Biologie

Le cycle biologique du Criquet pèlerin comprend, comme chez les autres espèces de criquets, trois états successifs : œuf, larve et imago. Le nombre annuel de générations varie entre 2 et 3 (voire 4) selon les conditions écologiques. L'une des caractéristiques importantes du Criquet pèlerin est la possibilité de quiescence à l'état imaginal dans le cas où l'acridien rencontre des conditions écologiques défavorables.

Le criquet pèlerin pond généralement au niveau des plaques de sol sableux, dénudées, au sein ou sur le bord des zones de végétation représentant des sites typiques de ponte. Une surface bien ensoleillée est généralement préférée, mais la ponte n'a lieu que si le sol est humide dans les 10 à 15 premiers centimètres (profondeur maximale atteinte par l'ovipositeur de la femelle). Plusieurs tentatives successives de ponte peuvent être réalisées, durant lesquelles on constate une remarquable capacité de la femelle à localiser les conditions d'humidité les plus appropriées. Cependant, si les conditions adéquates ne sont pas découvertes au bout de trois jours, les œufs sont abandonnés à la surface du sol, ou de la végétation, et finissent par se dessécher (Popov, 1958). Les œufs sont relativement mal protégés (absence d'enveloppe ovigère) et, dans les heures suivant la ponte, ils doivent pouvoir absorber leur propre poids en eau pour compléter correctement leur développement (Shulov, 1952 cité par Popov, 1997).

A partir de l'éclosion, les larves doivent avoir accès à de la végétation fraîche, verte, dont elles consomment environ la valeur de leur propre poids, quotidiennement, tout au long de leur développement (Davey, 1954 cité par Popov, 1997).

La reproduction chez le criquet pèlerin est ainsi intimement liée à l'apparition de la pluie. Dans une large mesure, la physiologie de l'adulte et le comportement de la femelle au moment de la ponte fournissent des garde-fous. La maturation sexuelle étant étroitement dépendante des précipitations (Magor, 1962), la femelle du criquet ne dépose ses œufs que là où les conditions d'humidité du sol sont adéquates et permettront la réussite du développement embryonnaire (grâce à l'humidité du sol) puis du développement larvaire (grâce au développement d'une végétation verte propice à l'alimentation des larves).

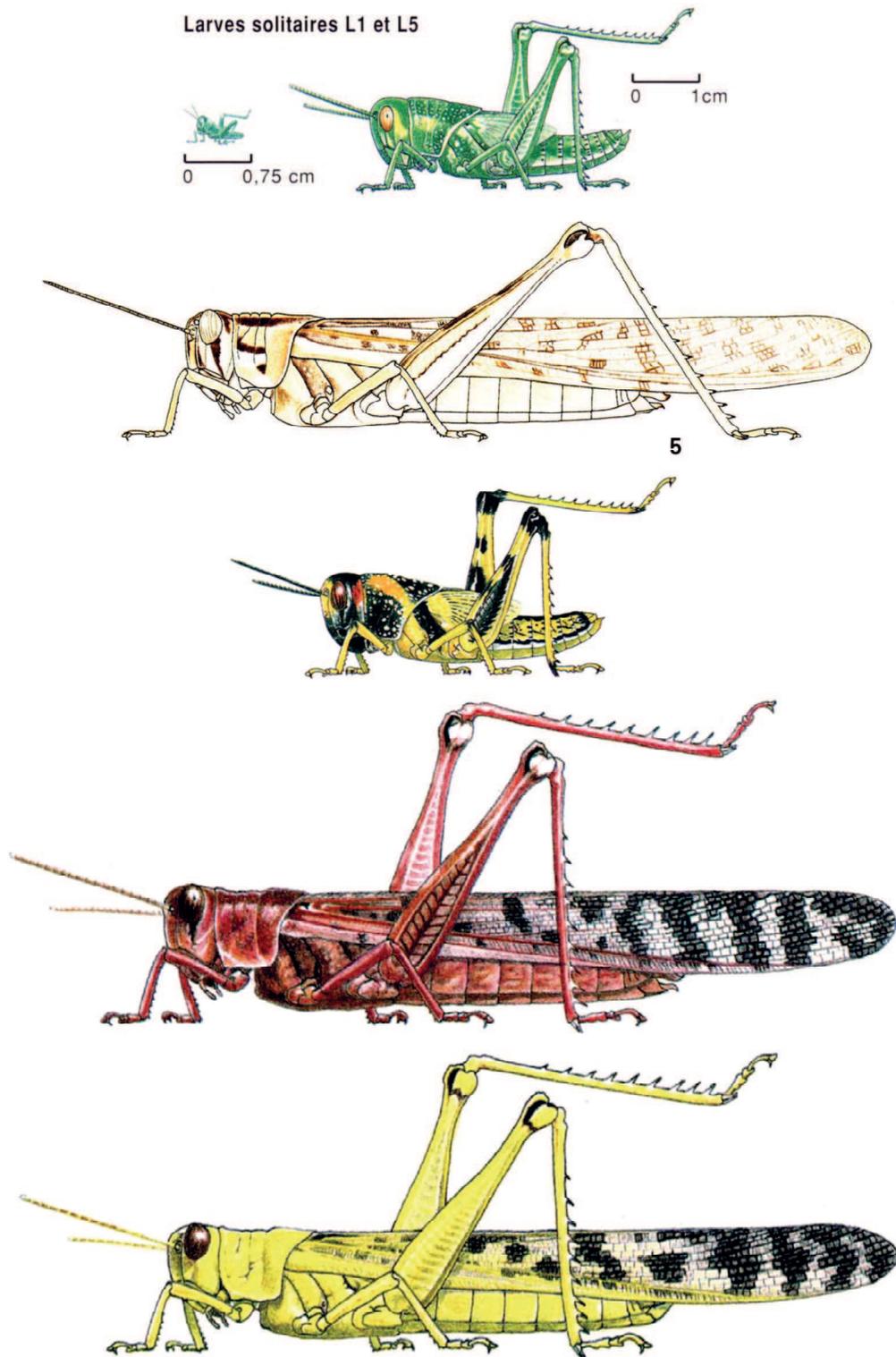


Figure 4 :Le criquet pèlerin.

De haut en bas : larves solitaires de stades 1 et 5, imago solitaire, larve grégaire de stade 5, imagos grégaires immature et mature.

(Images du CIRAD : http://locust.cirad.fr/principales_especes/sgr_fr.html).

A aucun stade de son développement le criquet pèlerin n'a de diapause obligatoire. Il est, par contre, capable d'une suspension facultative de maturation s'il se trouve dans des conditions d'environnement défavorables telles qu'une température basse ou un faible taux d'humidité. Cette faculté de quiescence imaginaire contribue largement à sa survie dans des conditions désertiques, d'autant que l'espèce est particulièrement exigeante en matière d'humidité.

Les terrains de reproduction du criquet pèlerin en période de forte activité couvrent un très vaste éventail d'habitats. Cependant, à l'intérieur du spectre des habitats disponibles, les essaims, au moment de la ponte, montrent une préférence pour certains sites et ce fait est encore plus marqué chez les criquets solitaires.

1.1.2.2: Polymorphisme de phase

Les criquets diffèrent des sauteriaux de par leur capacité à grégariser, à savoir, à former des bandes larvaires et des essaims, comme conséquence d'une augmentation de densité de la population (voir encadré 2). Cette capacité, ou aptitude, pour employer la terminologie de Pasquier (1952), diffère selon les espèces. Il y a des différences marquées du comportement de la physiologie et de la biologie entre les criquets qui apparaissent en bandes et en essaims et qui appartiennent à la phase grégaire et ceux qui vivent isolément, à la manière des sauteriaux et qui appartiennent à la phase solitaire. Le criquet pèlerin est le « meilleur » de tous les criquets en raison de son aptitude à grégariser, c'est-à-dire de la rapidité que manifestent ses populations solitaires pour grégariser dans des conditions favorables et en raison du haut niveau d'activité, de mobilité, de cohésion et de persistance de ses populations grégaires.

Quand les individus solitaires se regroupent, ils changent de comportement et s'ils se maintiennent rassemblés pendant une génération ou plus, ils modifient leur aspect pour prendre progressivement et via des formes intermédiaires dites transiens une forme grégaire (fig. 4). Le processus de la transformation de phase est réversible (fig. 5). Le passage de la phase solitaire à la phase grégaire demande en général plusieurs générations successives (4 au minimum) au cours desquelles les conditions favorisant la transformation phasaire se maintiennent. Le passage de la phase grégaire à la phase solitaire est beaucoup plus rapide et s'effectue souvent en l'espace d'une ou deux générations (Duranton et Lecoq, 1990).

A leur point extrême, les deux phases, solitaire et grégaire, sont tellement différentes dans leur forme et leur coloration qu'elles ont été décrites à l'origine comme représentant deux espèces distinctes. Il existe également de nombreuses différences biologiques qui affectent tous les stades de leur vie. Elles sont décrites par Uvarov (1966, 1977) et par (Pedgley, 1972), mais ce qui s'applique tout particulièrement ici, se rapporte à la différence comportementale entre phases, plus particulièrement dans les comportements de vol qui affectent grandement la distribution saisonnière et le choix d'habitats (Popov, 1997).

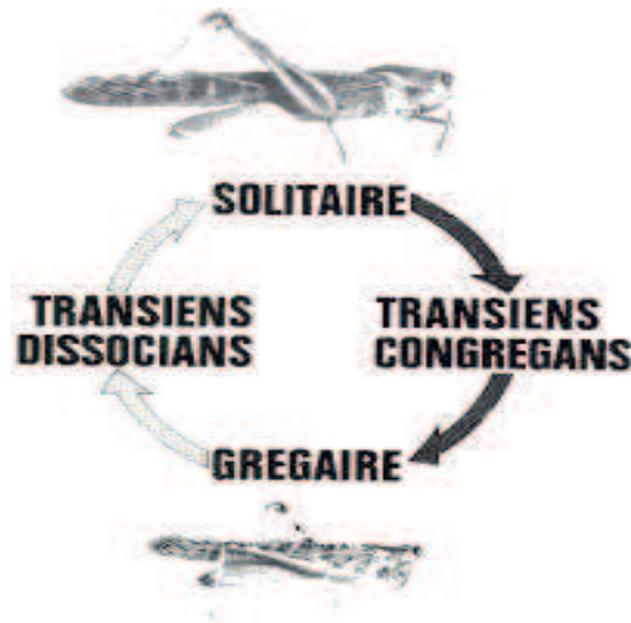


Figure 5 : Exemple de différences morphologiques phasaires chez *Schistocerca gregaria* (d'après B.P. UVAROV, 1923).

Encadré 2– Les acridiens et le polymorphisme phasaire : quelques définitions.

Acridien*

Nom commun français formé à partir du nom scientifique désignant la super-famille « Acridoidea ». Au pluriel, il est utilisé communément pour désigner l'ensemble des insectes appartenant au sous-ordre des Caelifères. Synonyme de criquet.

Aire grégarigène*

Zones englobant des foyers de grégariation où des populations de locustes peuvent trouver certaines années des conditions écologiques favorables conduisant à la grégariation et à la formation d'essaims. Elles forment des ensembles fonctionnels géographiquement identifiés et sont incluses dans l'aire d'habitat permanent de l'espèce.

Invasion

Période pendant laquelle une espèce grégariapte pullule sous sa forme grégaire sur la majeure partie de son aire de répartition. Les limites des habitats colonisables sont alors beaucoup plus larges car les grégaires n'ont pas les mêmes exigences et tolérances que les solitaires vis-à-vis de leur environnement.

Locuste*

Acridien (criquet) capable de se présenter sous deux phases, grégaire ou solitaire, selon les conditions de son environnement. Synonyme d'acridien grégariapte. La densité de la population acridienne est le facteur responsable du changement de phase.

Polymorphisme phasaire

Une des caractéristiques particulières de certains acridiens ravageurs réside dans leur capacité à engendrer des invasions massives pouvant occasionner des dégâts à une échelle continentale. Ces invasions sont la résultante, sous l'effet d'une variation dans la densité de leurs effectifs, d'un changement morphologique, physiologique et comportemental réversible, qui permet aux criquets de passer en quelques générations d'une phase solitaire à une phase grégaire où les individus se regroupent en bandes larvaires puis en essaims pouvant atteindre des tailles gigantesques. On parle de phénomène de polymorphisme phasaire, phénomène mis en évidence pour la première par B.P. Uvarov en 1921. La densité critique permettant d'induire le changement de phase (le seuil de transformation phasaire) est variable d'une espèce à l'autre : très faible chez le criquet pèlerin (qui grégarise donc facilement), il est beaucoup plus élevé chez les criquets migrateur et nomade, par exemple. Cette capacité, pour les femelles des criquets dits « grégariaptés », à transmettre à leur descendance un caractère acquis est unique dans le règne animal, et fait de ces insectes un modèle d'étude très intéressant pour étudier la dynamique des espèces invasives (Pener & Simpson 2009).

Phase solitaire*

Phase durant laquelle les individus des espèces de locustes vivent en faibles densités et ne manifestent pas d'attraction mutuelle.

Phase grégaire*

Phase au cours de laquelle les locustes sont réunis en groupe de forte densité sous l'effet d'une attraction mutuelle. Durant cette phase les individus grégaires diffèrent des individus solitaires par leur pigmentation, leur morphologie, leur physiologie, leur comportement, leur biologie et leur écologie.

* Définitions adaptées du Glossaire des termes élémentaires d'acridologie et de lutte antiacridienne en Afrique sahélienne (Balança et de Visscher 1992).

1.1.2.3: Aires d'habitat du criquet pèlerin

Aires d'invasion et de rémission

L'aire d'invasion du criquet pèlerin couvre un territoire de 28 millions de km² (Magor, 1993), peuplé par plus de 1 milliard d'habitants et touche soixante cinq pays d'Afrique, du Moyen Orient et d'Asie du sud-ouest (figure 6). Sword et al (2010) l'estime à 31 millions de km². Elle est divisée en trois grandes régions: occidentale, centrale et orientale. L'aire de rémission, beaucoup moins étendue, couvre 15 millions de km² environ et intéresse surtout les zones désertiques.

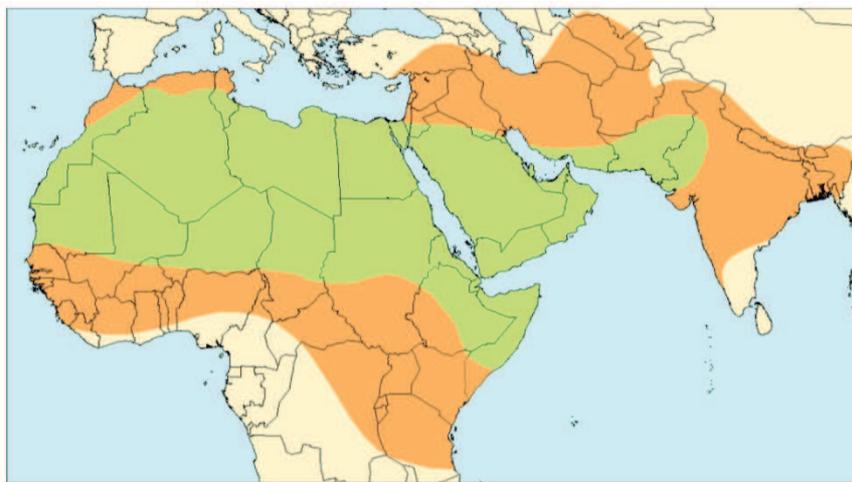


Figure 6 :Aire d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin dans le monde (d'après Duranton et Lecoq, 1990, modifié).

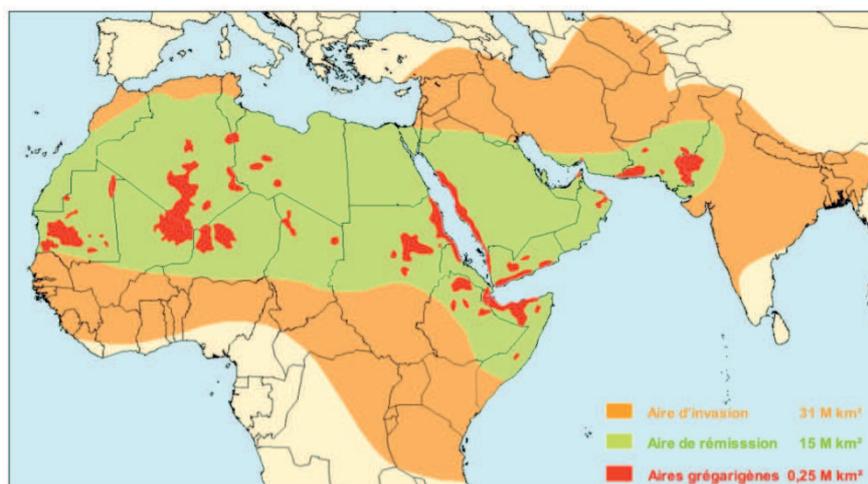


Figure 7 :Limites des aires d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin, et localisation des aires grégarigènes (d'après Sword *et al.* 2010).

Orange : aire d'invasion, vert : aire de rémission, rouge : aires grégarigènes.

Aires grégarigènes

Les recherches et les observations de terrain réalisées sur plusieurs décennies, montrent que les recrudescences et les invasions du Criquet pèlerin commencent dans des zones relativement réduites, les aires grégarigènes, dont la délimitation a été peu à peu précisée. Ces aires grégarigènes englobent des foyers de grégarisation où des populations de locustes peuvent trouver certaines années des conditions écologiques favorables conduisant à la grégarisation et à la formation d'essaims (voir encadré 2). Chacune des trois régions de l'aire d'habitat de cet insecte renferme une ou plusieurs aires grégarigènes. En région occidentale (Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest), deux aires grégarigènes distinctes ont été identifiées: les zones frontalières algéro-nigéro-maliennes, d'une part, le centre et le sud-est mauritaniens, d'autre part. Les autres aires grégarigènes sont localisées en région centrale (région sans doute la plus importante quant au déclenchement des invasions) au niveau des zones côtières de la Mer Rouge et du golfe d'Aden et en région orientale, au niveau des zones frontalières indo-pakistantaises (fig. 7).

1.1.2.4: Processus de grégarisation

Le facteur clé de la prolifération du Criquet pèlerin est la pluviométrie au niveau des aires grégarigènes. La reproduction s'amorce généralement avec les pluies générant une couverture végétale favorable au développement des larves. Avec le dessèchement de la végétation, les criquets quittent la zone où ils sont nés. Ils se déplacent avec les vents à la recherche de milieux plus propices, allant d'une zone de reproduction à une autre, parfois fort éloignée. Les distances que les essaims parcourent sont de quelques centaines à plusieurs milliers de kilomètres.

Cette grande capacité de migration permet au Criquet pèlerin, dans sa phase solitaire, d'exploiter au mieux les faibles pluies erratiques des zones désertiques de l'aire de rémission. Elle lui permet de réagir rapidement, de pulluler et de grégariser dès que des conditions propices surviennent. Elle permet également aux populations grégaires de se disséminer rapidement sur des territoires très vastes, rendant cette espèce particulièrement dangereuse et difficile à contrôler.

L'installation d'essaims sur une zone donnée (fig. 8) dépend largement d'un sol propice à la ponte. Il arrive parfois que des essaims s'installent sur des sites déjà occupés par des criquets en pleine ponte. D'une façon générale, l'installation d'essaims se produit vers le crépuscule et

peut être en grande partie attribuée aux conditions physiologiques des criquets (la faim, la fatigue), à la surface de l'habitat (topographie, végétation) et aux conditions météorologiques (baisse de température) et de lumière (baisse de la luminosité) (Popov, 1958).



Figure 8 : Une partie d'un essaim du criquet pèlerin posé sur palmier (Photo : Direction agricole de la wilaya de Tamanrasset, octobre 2004).

1.1.2.5: Principaux facteurs écologiques influant sur la grégarisation

L'étude des mécanismes d'action des facteurs écologiques constitue une étape indispensable pour la compréhension du comportement et des réactions propres aux organismes, aux populations et aux communautés dans les biotopes auxquels ils sont inféodés. (Ramade, 1984). Ces facteurs n'agissent jamais isolément car les êtres vivants sont toujours exposés de façon simultanée à l'action conjuguée d'un grand nombre de facteurs écologiques dont beaucoup ne sont pas constants, mais présentent d'importantes variations spatio-temporelles.

A l'instar des autres espèces animales, le criquet pèlerin est aussi influencé par l'action des facteurs écologiques sur son comportement, sa distribution et sa reproduction. Les principaux facteurs écologiques qui agissent sur le criquet pèlerin sont de nature :

- les facteurs biotiques (végétation).

- les facteurs climatiques (température, précipitation) et les facteurs édaphiques (texture/structure des sols, hygrométrie des sols);

1.1.2.5.1: Les facteurs biotiques

La végétation

La fécondité des femelles est largement conditionnée par:

- La disponibilité de la nourriture: une végétation qui persiste verte, très longtemps au cours de l'année, permet aux femelles d'augmenter leur longévité et par conséquent de se reproduire plusieurs fois d'où une augmentation du nombre d'oothèques pondues par femelles. Par contre une végétation qui se dessèche provoque l'effet inverse : réduction de la longévité des femelles et production par celles-ci d'un nombre d'œufs et d'oothèques réduit.
- La qualité de la nourriture: une nourriture de qualité permet aux femelles d'optimiser leur rendement ovarien, c'est-à-dire de produire le maximum d'œufs par ponte. Cet effort de production d'œufs peut également se maintenir pendant plusieurs pontes.

Par contre, dans un milieu où la végétation offre des possibilités nutritives faibles ou moyennes, les criquets auront un rendement ovarien réduit et leur production d'œufs diminuera de manière très significative d'une ponte à une autre.

La disponibilité d'une nourriture de qualité pendant une période suffisamment longue au cours de l'année permet donc à l'acridien d'exprimer au maximum ses potentialités.

La prédation et le parasitisme

Une faible mortalité par prédation et parasitisme, peut largement contribuer à des explosions démographiques des populations acridiennes. En effet, les populations imaginaires, peu limitées en nombre, produiront d'importantes quantités d'œufs qui, faiblement parasités vont éclore et donner lieu à de fortes pullulations.

1.1.2.2 : Facteurs abiotiques

Ce sont les pluies, les températures et les vents qui influent le plus sur la dynamique des populations acridiennes.

La pluviométrie

L'influence des pluies sur la dynamique des populations acridiennes se fait à travers les conditions écologiques qu'elles rendent favorables ou défavorables à la reproduction des criquets ainsi qu'à leur développement.

Les exigences des criquets vis-à-vis de l'humidité varient d'une espèce à une autre. Pour certaines, peu d'humidité suffit à l'accomplissement du cycle : ce sont les espèces xérophiles ; par contre d'autres espèces ne peuvent se développer que si le milieu est suffisamment humide : il s'agit d'espèces hygrophiles. Donc la pluie peut favoriser ou défavoriser les populations acridiennes.

Dans le premier cas, les conditions écologiques qui s'installent après les pluies permettent l'augmentation du potentiel biotique des espèces ; alors que dans le second cas, elles entraînent la pourriture des œufs et rendent le milieu défavorable à l'évolution des populations de criquets.

La température

Comme les pluies, les températures peuvent favoriser ou défavoriser le développement des criquets et par conséquent les populations. Quand les températures sont très basses, elles ralentissent le développement des acridiens aux différents stades de leur cycle ; elles peuvent même devenir létales (entraîner la mort des individus). Par contre, certaines températures sont très favorables à la survie des criquets et à leur développement ; ces températures sont comprises entre 25°C et 35°C.

Généralement, la vitesse de croissance des individus augmente avec l'élévation des températures. En d'autres termes, une température de 30°C accélère plus le développement qu'une température de 25°C.

Le vent

Ce sont surtout les vents convergents qui influent sur l'augmentation des effectifs de criquets. En effet, comme nous l'avons vu dans le paragraphe sur le polymorphisme phasaire (1.1.2.2), les densités par unité de surface peuvent augmenter dans une région à la suite de vents convergents.

1.1.2.5.3: Facteurs anthropiques

On entend par facteurs anthropiques les perturbations que l'homme introduit dans le milieu. Ces pressions externes se traduisent en général par une réduction importante des effectifs d'espèces auparavant abondantes et une explosion démographique des populations d'espèces antérieurement considérées comme secondaires.

De nombreux exemples peuvent être cités. On se limite ici à deux situations extrêmes :

- Le défrichement de zones forestières ou de garrigues entraîne l'implantation de clairières où peuvent s'installer des espèces de criquets qui préfèrent évoluer dans des milieux ouverts.
- L'introduction de cultures irriguées dans des régions semi-arides, arides et désertiques s'accompagne parfois de l'installation de conditions écologiques favorables à la prolifération d'espèces acridiennes. L'exemple des périmètres irrigués créés en plein désert en Libye est très significatif. En effet, cette perturbation du milieu a permis à *Locusta migratoria* Linné, de trouver des conditions idéales de développement et de pulluler à plusieurs reprises. Ce même phénomène est, depuis quelque temps déjà, entrain de se produire en Algérie (Chara, 1995).

1.1.2.5.4 :Facteurs écologiques clés pour le criquet pèlerin dans les régions désertiques du sud algérien : pluies et végétation

1.1.2.5.4.1 :Les pluies dans les zones arides du sud algérien

Dans le sud algérien trois types de pluies peuvent être distingués selon leur origine: cycloniques méditerranéennes, cycloniques sahariennes et de mousson.

Pluies cycloniques méditerranéennes- Ces pluies sont déterminées par le passage au Nord du Sahara d'une dépression d'origine atlantique ayant envahi la Méditerranée occidentale et se dirigeant vers les Syrtes et la Méditerranée orientale. Ces perturbations qui se produisent surtout en automne et en hiver affectent seulement l'Atlas Saharien et le Piémont Atlasique. Plus au Sud elles ne se traduisent que par des vents de sable

exceptionnellement elles peuvent apporter quelques ondées à El Goléa et Ouargla décembre 1939.

Pluies cycloniques sahariennes - Ces pluies sont liées des dépressions qui traversent le Sahara du Sud-Ouest au Nord-Est quelquefois avec un rebroussement dans leur trajectoire rappelant celui des typhons. Elles se produisent en hiver et au printemps et sont particulièrement fréquentes en Mai. Tantôt elles se propagent en suivant le bord méridional de Anti-Atlas et de Atlas saharien elles donnent alors des pluies relativement abondantes dans tout le Piémont Atlasique un bel exemple est fourni par la pluie des 29-30 janvier 1939.

Tantôt elles traversent le Sahara plus au Sud la pluie affecte alors principalement le Hoggar et ses enveloppes Tassiliennes, c' est dans des conditions de ce genre que Ouallen la lisière Nord du Tanezrouft mais au pied de la falaise de Asedjerad, aurait reçu en mars 1939, 81 mm en trois jours de pluie. L'originalité de ces dépressions dites sahariennes était bien mise en lumière par (Dubief et Queney 1935) mais les conditions de leur genèse ne sont pas encore entièrement éclaircies. D'après ces auteurs elles naîtraient au printemps au contact de la mousson et du contre-alizé et en hiver au large de la côte du Sénégal. Mais on ne voit pas bien comment une discontinuité peut apparaître au contact de deux masses d'air qui ont sensiblement les mêmes conditions de température et d'humidité et qui ailleurs sont séparées normalement par toute épaisseur de l'harmattan.

Pluies de mousson - Le mot mousson vient de l'arabe « mausim », qui signifie saison, et désigne le régime de vent du sud-ouest qui s'établit, en été, sur la mer d'Oman et le golfe du Bengale (les vents soufflent du nord-est l'autre partie de l'année). C'était, du temps des bateaux à voiles, la saison favorable à la navigation et au commerce des épices. Parallèlement, pour les populations concernées, la mousson est devenue bien plus qu'un renversement périodique des vents. En Inde (dans le calendrier, le folklore et les sciences) la mousson est à l'origine d'une bipolarité de l'univers, une alternance fondamentale du sec et de l'humide (Poan, 2013).

Dans le langage courant, la mousson d'Afrique de l'Ouest désigne la saison des pluies dans la région ouest-africaine pendant les mois d'été de l'hémisphère Nord. L'installation des pluies sur le continent se fait en effet de façon progressive depuis le golfe de Guinée aux mois de mai-juin jusqu'aux latitudes sahéliennes, à 15-20°N vers Juillet- Août. Puis, le retrait des pluies vers le Sud s'amorce à partir de Septembre. Cette migration méridienne des précipitations confère un cycle saisonnier très marqué à la région.

De façon simplifiée, l'existence d'une mousson suppose la présence d'un continent et d'un océan. Pendant l'été du continent en question, un fort contraste thermique s'établit entre les deux milieux du fait de la forte insolation sur le continent conjuguée à sa faible inertie thermique. Des circulations de grande échelle se mettent alors en place pour compenser ce déséquilibre thermique (à l'image d'une brise de mer). L'humidification du continent contribue à l'arrivée des précipitations. L'évolution du cycle du soleil entre les saisons explique alors la présence d'une saison des pluies et d'une saison sèche.

Aussi, les pluies résultent par le contact entre le front intertropical ou F.I.T., coïncidant à peu près avec l'axe de la dépression saharienne. D'autre part, la pénétration de l'alizé atlantique sous l'harmattan détermine une deuxième surface de discontinuité : le front des alizés maritimes ou F.A.M., parallèle au rivage du Sénégal (Isnard, 1952).

1.1.2.5.4.2 : La végétation des zones arides du sud algérien

Dans les zones arides, le couvert végétal est rare. On peut néanmoins distinguer trois formes de plantes: les éphémères annuelles, les pérennes succulentes et les pérennes non succulentes.

Les éphémères annuelles - Les éphémères annuelles apparaissent après les pluies, accomplissent leur cycle de vie au cours d'une brève saison. Leur croissance est limitée à une courte période humide. Les éphémères ne possèdent pas les caractéristiques xéromorphiques des pérennes. En général, elles sont de petite taille, ont des racines peu profondes et leur adaptation physiologique est constituée par une croissance active. Les éphémères survivent pendant la saison sèche, qui peut durer plusieurs années, sous forme de graines. Elles peuvent parfois former des peuplements denses et fournir du fourrage. Les éphémères sont des espèces qui échappent à la sécheresse et ne sont pas en général considérées comme de véritables xérophytes.

Les pérennes succulentes - Elles sont capables d'accumuler et de stocker de l'eau (qui peut être consommée pendant les périodes de sécheresse); ceci est dû à la prolifération du tissu parenchyme des tiges et des feuilles et aux faibles taux de transpiration qui les caractérisent. Les cactus sont des pérennes succulentes typiques.

Les pérennes non succulentes - Elles constituent la majorité des plantes de la zone aride. Ce sont des plantes rustiques, qui comprennent les graminées, les petites plantes ligneuses, les buissons et les arbres qui supportent le stress de l'environnement des zones

arides. Nombre de pérennes non succulentes ont des graines "dures" qui ne germent pas facilement; ces graines doivent souvent être traitées (par trempage dans l'eau ou l'acide) avant de germer. On peut distinguer trois formes de croissance des pérennes non succulentes:

- persistantes (actives biologiquement pendant toute l'année);
- caduques en période de sécheresse (biologiquement dormantes en saison sèche);
- caduques en période froide (biologiquement dormantes en saison froide).

Les pérennes succulentes et non succulentes au contraire supportent la sécheresse et sont des xérophytes véritables.

Le xérophytisme est l'adaptabilité des plantes capables de subsister avec de faibles quantités d'humidité. Quelques-unes des caractéristiques des plantes xérophiles sont les suivantes:

- Développement d'un important système racinaire; la croissance principale des racines peut être verticale, horizontale ou les deux et semble dépendre des conditions du site. Des racines qui pénètrent à 10 ou 15 mètres de profondeur ne sont pas inhabituelles; les racines qui s'étendent horizontalement sont courantes dans les sols peu profonds. Certaines espèces xérophiles produisent des "racines pluviales" en dessous de la surface du sol, à la suite de précipitations légères ou en période de formation de rosée.
- Pousses moins importantes que les racines; des coefficients système racinaire/système foliacé de 1 à 3,5 ou 1 à 6 sont fréquents.
- Réduction de la surface de transpiration ; par la chute ou l'enroulement des feuilles.
- Réduction saisonnière de la surface de transpiration de la plante ; ce qui diminue la déperdition d'eau pendant la saison sèche.
- Adaptations spéciales dans les espèces "persistantes" qui diminuent la transpiration. Les feuilles sont dures et souvent revêtues d'une épaisse couche de cire; ces plantes sont dites sclérophylles.

La xénophilie se distingue également par d'autres caractéristiques anatomiques:

- la cuticularisation - formation d'une couche de cutine superficielle semblable à du plâtre;

- la cutinisation - imprégnation de la paroi de la cellule par la cutine, qui forme une couche étanche pourvue de poils abondants;
- des dispositions particulières des stomates dans les creux et les rainures qui assurent une protection contre l'atmosphère aride.

1.2.7.3: Morphologie des zones désertiques

La morphologie d'une région désertique se présente souvent sous la forme d'un système à trois composantes (fig.9) :

Reliefs: hammada, inselberg, cuesta

Hammada (plateau structural rocheux), inselberg, cuesta (forme structurale dégagée dans une série sédimentaire concordante à pendage faible (moins de 15°) comportant une succession de roches alternativement dures et tendres).

Plaines: playa, plaine alluviale, oued, bassin, sebkha

Laplaines est une zone d'épandage d'alluvions à surface plane, située à l'aval d'un glacis ou d'un pédiment avec lequel elle se raccorde. Lorsqu'elle tapisse une dépression endoréique, son centre est souvent occupé par une sebkha, lac temporaire (fine pellicule d'eau) alimenté par les nappes phréatiques ou par la concentration du ruissellement superficiel, où se déposent des évaporites (eaux en érodant le relief se chargent en minéraux). Les sebkhas sont des dépressions fermées, des lacs salés, parfois entourés d'une végétation halophile, le chott. Les sebkhas sont alimentées par de puissants appareils artésiens. Les sels, dissous dans l'eau qui subit une forte évaporation, sont déposés. On a donc formation de sel par évaporation et par remontée des eaux souterraines par capillarité.

Glacis et pédiments

Ce sont des versants à faible pente qui se développent sur le piémont (« zone au pied des montagnes »). La terminologie est relativement controversée. Ci-dessous, les définitions du dictionnaire de Géologie de Raoult et Foucault (2014) :

- **Glacis :** (du latin *glacies* = glace, dans le sens « qui glisse »). Forme de relief non structural consistant en une surface plane et peu inclinée (quelques degrés). Le glacis affecte les roches tendres. Suivant son origine, on distingue :

- Les glaciers d'érosion sur lesquels la roche est à nu ou semée de débris qui sont plus ou moins rapidement déblayés. Ce terme est habituellement utilisé pour les surfaces taillées dans les roches tendres, celles élaborées dans les roches dures étant appelées « pédiments ».
 - Les glaciers alluviaux où la roche en place est masquée par une épaisseur d'alluvions faible (glacis d'épandage) ou forte (glacis d'accumulation).
Les glaciers sont souvent creusés, selon leur pente, de rigoles peu profondes appelées rills.
 - Les glaciers alluviaux s'accumulent en nappe ou en cône.
- **Pédiments** : Glacis d'érosion qui sont constitués sur des roches dures au pied d'un relief isolé aux parois raides (inselbergs) et qui sont typiques des morphologies désertiques. Le raccord entre le pédiment et les parois d'un inselberg se fait souvent par une rupture de pente appelée (ligne).

Les glaciers et les pédiments sont des formes azonales (ne dépendant pas typiquement d'une zone climatique), mais très communes dans les environnements arides et semi-arides (pas de végétation et météorisation de surface). On en trouve également souvent dans les environnements périglaciaires.

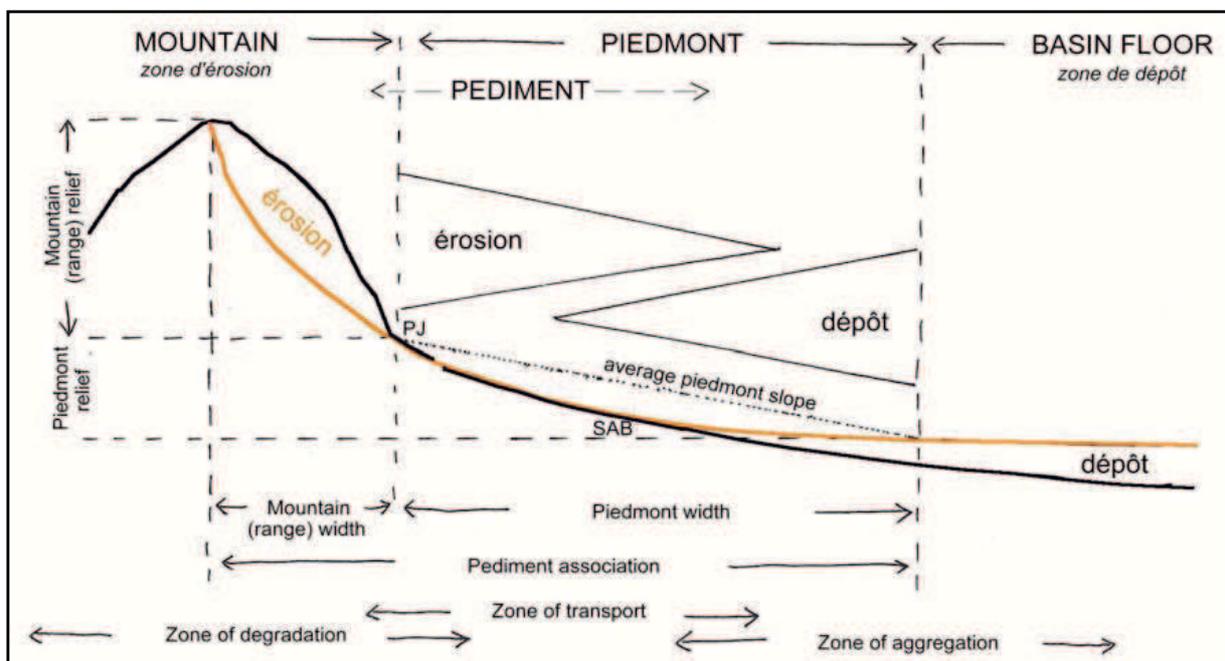


Figure 9 : La morphologie typique d'une zone désertique (d'après Baldwin, 2004).

1.2.7.4: Sols des zones arides et importance de leurs propriétés

Les sols se forment avec le temps à mesure que le climat et la végétation agissent sur le matériau de la roche mère. Les aspects importants de la formation des sols dans un climat aride sont les suivants:

- Des changements journaliers importants de température, qui provoquent la désintégration mécanique ou physique des roches;
- Les sables transportés par le vent qui abrasent les surfaces exposées des roches.

La désintégration physique des roches donne des fragments relativement gros; seule l'érosion chimique peut les décomposer en fragments plus petits. Le processus d'érosion chimique est lent dans les zones arides en raison du déficit hydrique caractéristique. D'autre part, les périodes prolongées d'insuffisance hydrique sont importantes dans l'élimination ou le lessivage des sels solubles dont l'accumulation est renforcée par la forte évaporation. Les brèves périodes de ruissellement de l'eau ne permettent pas une pénétration profonde des sels (qui ne sont transportés qu'à courte distance), d'où une accumulation de ceux-ci dans les dépressions fermées.

La végétation joue un rôle fondamental dans le processus de formation des sols en faisant éclater les particules de roche et en enrichissant le sol par des matières organiques provenant de ses parties aériennes et souterraines. Cependant, le rôle de la végétation est réduit dans les zones arides du fait de la faiblesse du couvert et du développement limité des parties aériennes. Cela dit, les systèmes racinaires présentent souvent un développement exceptionnel et ce sont eux qui ont le plus d'influence sur le sol.

Le forestier s'intéresse généralement plus aux propriétés du sol importantes pour la croissance des arbres et arbustes qu'à l'évolution du profil du sol ou aux systèmes de classification régionale des sols. Le plus important pour les sols des zones arides est la capacité de rétention d'eau et l'aptitude à fournir des éléments nutritifs.

La capacité de rétention d'eau d'un sol dépend de ses caractéristiques physiques telles que texture, structure et profondeur. La texture est la répartition relative des particules (argile, sable et limon). En général, plus fine est la texture, plus grande est la rétention d'eau. La structure, arrangement interne des particules du sol, est influencée par la quantité de matière organique liant ces particules. Les sols sableux n'ont pas de structure; les sols argileux ont

différentes formes de structure et les espaces entre les particules permettent la circulation de l'air et de l'eau. Plus importants sont ces espaces, plus grande est la perméabilité.

La profondeur du sol régit la quantité d'humidité du sol et le type de disposition des racines des arbres. En général, les sols colluviaux et alluviaux sont profonds; mais les sols résiduels sont d'une profondeur très variable selon le degré de la pente, la durée et l'intensité des intempéries et les influences biotiques (cultures, pâturage de bétail, etc.). Les sols des crêtes et du haut des pentes sont souvent peu profonds, tandis que ceux du milieu des pentes et des vallées sont de modérément profonds à très profonds. La profondeur des sols dans les régions arides est souvent limitée par un horizon concrétionné. Cette croûte, composée de minerais de fer ou de graviers de latérite dans la zone tropicale et de calcite consolidée dans la région méditerranéenne, peut être plus ou moins continue et se situer entre 5 et 60 centimètres en dessous de la surface.

Du fait que dans les zones arides il y a peu d'accumulation de dépôts organiques, la teneur du sol en matières organiques est faible. Lorsqu'on les cultive, cette matière organique disparaît rapidement.

Les propriétés chimiques du sol commandent la disponibilité de nutriments. Les sols arides sont caractérisés par un lessivage significatif des nutriments et une érosion intensive des minéraux, encore que ces deux phénomènes soient ralentis lorsque les précipitations diminuent. La fertilité naturelle (qui dépend beaucoup de la teneur en matières organiques de la couche arable) est souvent faible.

Du fait de l'aridité du climat, les caractéristiques édaphiques qui réduisent les contraintes hydriques seront favorables à la plantation d'arbres ou de buissons. Certaines de ces caractéristiques sont les suivantes:

- Présence d'une nappe phréatique à une profondeur que les racines peuvent atteindre;
- Épaisseur du sol suffisante pour permettre une réserve d'eau;
- Texture du sol retenant la quantité maximum d'eau.

Il ne faut pas oublier que la topographie du terrain peut aussi jouer un rôle important. Ainsi, les bas-fonds et les parties basses des dunes de sable peuvent accumuler une quantité considérable d'eau utilisable par une végétation adaptée.

1.1.3 : Stratégie et méthodes de lutte contre le criquet pèlerin

1.1.3.1: La stratégie de lutte préventive contre le criquet pèlerin

Les bases scientifiques d'une stratégie de lutte préventive contre les locustes et le criquet pèlerin en particulier ont été définies par Uvarov dès 1937 au cours d'une conférence internationale sur les catastrophes naturelles (Uvarov, 1938). Le changement de phase étant supposé survenir au sein d'aires grégarigènes de superficie limitée d'où les essaims sortaient pour se reproduire et donner naissance aux invasions affectant des territoires beaucoup plus vastes (Uvarov 1921, 1928, 1937), les invasions pouvaient donc être prévenues en détruisant bandes larvaires et essaims au sein de ces aires grégarigènes. Pour conduire efficacement les opérations de contrôle préventif destinées à stopper dans l'œuf toute velléité de démarrage d'invasion, Uvarov soulignait la nécessité d'une bonne compréhension de l'écologie de l'espèce, pour localiser les aires grégarigènes, ainsi que la nécessité d'une excellente coopération internationale rendue indispensable du fait de la forte capacité de migration de ces insectes. Cette stratégie de contrôle préventif a été très tôt recommandée par la FAO et un dispositif international de surveillance, de lutte et de coopération a été progressivement mis en place après la 2^{ème} guerre mondiale (FAO, 1968, 1972; Hafraoui and McCulloch, 1993; Krall *et al.*, 1997; Magor *et al.*, 2005; van Huis *et al.*, 2007). Les plus grands progrès ont certainement été réalisés entre les années 1930 et 1950 (Jago, 1998). Depuis cette stratégie a fait l'objet d'améliorations constantes, même si l'on peut estimer quelles ont été trop irrégulières et ont le plus souvent fait suite à des recrudescences ou à des départs d'invasions non maîtrisées précocement, faisant prendre de nouveau conscience de la permanence du problème à une communauté internationale souvent amnésique (Lecoq, 2001; Lockwood *et al.*, 2001).

Cette stratégie de lutte préventive - simple dans son principe - suppose, pour les pays renfermant des aires grégarigènes, à la fois des capacités d'alerte précoce et d'intervention rapide. Il s'agit de surveiller les conditions écologiques et le niveau des populations acridiennes dans les aires grégarigènes, et de conduire des traitements préventifs contre les premières populations grégarisantes. De telles capacités ont été progressivement développées et sont actuellement en place – à des degrés divers – dans la plupart des pays renfermant des aires grégarigènes (Lecoq 2001, 2003). Parallèlement, les zones à surveiller ont été réduites, passant des 31 M de km² de l'aire d'invasion, aux 15 M de km² de l'aire de rémission puis aux 250000 km² des aires grégarigènes. On est donc passé d'une vaste zone où tout effort

pouvait sembler vain, à une zone beaucoup plus petite où la mise en place d'une stratégie préventive devenait envisageable (Sword *et al.* 2010).

Chaque pays concerné par les opérations de prévention, de la Mauritanie à l'Inde, dispose d'un centre national anti-acridien (National locust control units), souvent autonome, entièrement dédié à la lutte contre le Criquet pèlerin. Dans chaque centre, les équipes de surveillance et lutte préventive prospectent les aires d'origine en fonction de la localisation connue des zones potentiellement favorables (les biotopes du criquet pèlerin), du calendrier prévisible de l'activité du criquet dans la région (lié aux grandes alternances saisonnières), des zones de pluies ou de développement de la végétation connues (soit grâce au réseau météorologique au sol – souvent insuffisant dans ces zones désertiques – soit grâce à l'imagerie satellitaire). Au sein de chaque zone les recherches sont réalisées en fonction de la connaissance du terrain des prospecteurs, de la topographie et de l'état de la végétation (souvent en taches ou localisée le long des lits d'oueds, permettant ainsi de mieux cibler les zones à prospecter). La stratégie de prospection et de surveillance procède d'une démarche stratifiée, du général au particulier, permettant progressivement de se focaliser sur les zones d'intérêt majeur. A un niveau international, le Comité FAO de lutte contre le criquet pèlerin (DLCC), créé en 1954, rassemble tous les pays affectés et les pays donateurs et coordonne les activités internationales sur le criquet pèlerin, le DLIS de la FAO (Desert Locust Information Center) qui produit chaque mois des cartes de situation acridienne et des prévisions pour les 3 mois à venir. Enfin, 3 commissions régionales FAO coordonnent les activités chacune dans leur sphère de responsabilité : Afrique de l'Ouest et du Nord, Proche orient et Asie du Sud-Ouest. Dans la localisation des situations à risque, la transmission, le partage et l'analyse de l'information et finalement dans la décision d'intervention, la rapidité est un élément clé de la réussite de la stratégie.

Cette stratégie est-elle efficace ? Une telle politique d'intervention précoce a été appliquée depuis les années 1960, naturellement avec des modalités et une efficacité différentes selon les pays et selon les époques. A partir des années 1960, de spectaculaires progrès ont été réalisés dans le domaine des opérations de lutte devenues plus efficaces grâce au développement des techniques de traitements en barrières, de pulvérisation ULV, à l'utilisation de nouveaux insecticides rémanents et plus efficaces et au développement des traitements aériens (Roy 2001). Au final, et avec 50 années de recul, les invasions sont maintenant moins fréquentes, moins importantes et, lorsqu'elles ne peuvent être stoppées à un stade précoce, elles sont plus réduites dans le temps et mieux maîtrisées (Brader *et al* 2006 ;

Lecoq 2001, 2003, 2004, 2005 ; Magor *et al* 2008 ; Skaf *et al.* 1990 ; Showler 2001 ; Sword *et al.* 2010).

1.1.3.2: Les méthodes de lutte contre les acridiens

Jusqu'à présent, depuis la démocratisation des insecticides et en particulier des organochlorés (DDT, dieldrine...) au début des années 1960, la réponse apportée aux pullulations de criquets fut essentiellement chimique. Encore récemment, au cours de la dernière invasion du Criquet pèlerin de 2003-2005 en Afrique, plus de 14 millions d'hectares furent ainsi traités à l'aide d'insecticides chimiques de synthèse comme les pyréthriinoïdes et les organophosphorés. Lors de la précédente invasion en 1987-1989, c'est 26 millions d'hectares qui avaient été traités dans 23 pays : 5 millions au Maroc, 2,2 en Algérie, 1,25 au Niger, 1,7 au Mali, 1,25 en Mauritanie, 2,0 au Sénégal, 0,1 au Tchad, etc. (Lecoq 2003). Ces traitements avaient nécessité 32.000 tonnes d'insecticide !

Ces traitements à grande échelle, bien que rares sans être exceptionnels, ont un impact très négatif sur l'environnement et toute la faune non cible. Ils peuvent entraîner des mortalités au niveau des oiseaux et du bétail des populations nomades, et être à l'origine de conflits sociaux lorsque les nomades doivent quitter leurs zones de pâturages.

A l'heure actuelle, seules quelques initiatives existent pour développer des alternatives aux insecticides chimiques. La principale, maintenant opérationnelle dans divers pays et en particulier en Australie (contre le Criquet australien) et en Chine (contre le Criquet migrateur, en particulier), est représentée par un mycoïsecticide à base d'un champignon entomopathogène, *Metarhizium anisopliae* var *acridum*. Ce produit, commercialisé en Australie sous le nom de Green Guard® et en Afrique sous le nom de Green Muscle®, a également été récemment testé avec succès au Timor oriental (sur le Criquet migrateur) et en Afrique centrale (sur le Criquet nomade). Au cours de ces dernières années, de nombreuses expérimentations ont été effectuées sur le Criquet pèlerin (Van Der Valk, 2007) et son utilisation est maintenant recommandée par la FAO mais est encore loin d'être généralisée.

Par ailleurs, une phéromone de grégarisation, le PAN (phényacétonitril), est actuellement testée depuis plusieurs années par l'ICIPE (African Insect Science for Food and Health, Nairobi) au Kenya (Baldwyn 2009) sans pour autant être passée pour le moment à une étape opérationnelle.

1.1.3.3 : Les progrès récents en matière de méthodes de lutte contre les acridiens

A partir de 1960, une meilleure maîtrise des invasions devient possible grâce à l'apparition de nouveaux moyens et méthodes de lutte :

- Insecticides plus performants (dieldrine, DDT...).
- Traitements UBV (ultra bas volume) (en particulier grâce au pulvérisateur sur pot d'échappement).
- Technique de traitement en barrière (passage du pulvérisateur tous les 500 m seulement, voire tous les 1000m).
- Traitements aériens.

Au cours des 20 dernières années, des améliorations notables ont eu lieu grâce aux moyens suivants :

- GPS (pour la surveillance et les traitements de précision).
- Télédétection satellitaire (localisation des zones favorables à la reproduction : probabilité de pluie et développement de la végétation).
- SIG (pour la gestion des informations géoréférencées en provenance du terrain, la surveillance et la prévision).
- Prise en compte de l'impact environnemental (ex. équipes QUEST).
- Transmission électronique rapide et fiable de l'information (internet, e-locust...).

1.1.3.4 : Les recherches en cours pour améliorer la stratégie de prévention

Malgré tous les progrès réalisés, l'accès aux aires grégarigènes, situées en zone saharienne, demeure difficile et les superficies à surveiller restent malgré tout très vastes. La principale préoccupation des unités de lutte contre le Criquet pèlerin est d'arriver à effectuer cette surveillance dans le minimum de temps en optimisant les parcours de prospection des équipes au sol (Sidi Benahi 2008). Le repérage rapide des zones de reproduction (rassemblement des imagos solitaires et maturation sexuelle suite à des conditions écologiques favorables, ponte et développement des larves) est en particulier capital pour avoir une chance d'effectuer des traitements préventifs efficaces avant que les premiers essaims grégaires ne se dispersent (Magor *et al.* 2008). Récemment Piou *et al.* (2013), sur la base d'images de télédétection spatiale et d'archives acridiennes, ont réussi à obtenir un modèle prédictif de la probabilité de trouver des criquets dans des zones données. Cette méthodologie devrait aider à concentrer

plus efficacement les efforts de prospection sur les seules parties des aires de grégarisation où existe une probabilité de présence de criquets.

Une autre piste d'amélioration des opérations de prévention réside dans une meilleure compréhension de la dynamique des populations solitaires. En effet, si les populations grégaires, d'invasion, sont bien connues, les connaissances sur les populations solitaires à partir desquelles se développent ces invasions, sont beaucoup plus fragmentaires (Uvarov, 1977). Peu de données existent sur la distribution, les effectifs et les taux de migration des populations, ce qui empêche toute construction d'un modèle pertinent de la dynamique des populations solitaires du Criquet pèlerin (Uvarov, 1977). Longtemps considérées comme sédentaires, on sait maintenant que ces populations solitaires migrent également activement, sans doute sur des centaines de kilomètres, à la recherche de zones favorables à leur reproduction (Rao, 1942 ; Waloff, 1966 ; Popov, 1997). Ces migrations ne concernent que des populations de faible densité volant de nuit, ce qui explique qu'elles aient longtemps pu passer inaperçu. Leur rôle dans la genèse des invasions est certainement très important comme cela a été démontré chez d'autres espèces acridiennes, locustes ou non (Lecoq, 1975, 1978). Des études récentes faisant appel à un vaste échantillonnage de populations sur l'ensemble de l'aire d'habitat (et en particulier en Algérie) ainsi qu'aux techniques de génétique des populations a pu montrer que les populations de criquets solitaires ne présentent aucune structuration génétique sur l'ensemble de leur aire d'habitat de la Mauritanie au Pakistan, que la taille des populations pendant les périodes de rémission est bien plus importante que ce que l'on supposait et qu'il existe un brassage régulier entre les populations sur la totalité de leur aire de rémission, ce qui suppose une importante capacité de dispersion (Chapuis et al, 2014). Le Criquet pèlerin apparaît comme une espèce parfaitement adaptée à son environnement saharien, et si des accidents démographiques locaux surviennent- en particulier lors des développements embryonnaire ou larvaire (Roffey & Magor 2003)- ils sont, du fait de la forte mobilité de l'espèce, rapidement compensés par les apports de populations extérieures (Chapuis *et al*, 2014). Ces informations, encore préliminaires, sur le fonctionnement de ces populations solitaires sont très certainement cruciales pour concevoir des stratégies de gestion plus efficaces, en particulier dans les premiers stades de la grégarisation, quand de faibles impacts sur la taille de la population peuvent avoir des effets spectaculaires et que ces populations peuvent encore être contenues localement (Magor *et al*, 2008; Sword *et al*, 2010).

1.2.Le criquet pèlerin en Algérie

1.2.1: Historique des invasions et de l'organisation de la lutte

1.2.1.1: Les invasions de criquets pèlerins en Algérie

1.2.1.1.1: Avant la conquête de l'Algérie

Les dégâts provoqués par le Criquet pèlerin en Algérie remonte à l'invasion de la Cyrénaïque et de la Numidie, en l'an de Rome 637 (an 125 avant J.C) : ravages, entraînant la mortalité parmi les animaux sauvages et le bétail, mortalité parmi les populations humaines.

Pour les récentes invasions et d'après J. Künckel d'Herculais(1905), assistant de zoologie au muséum d'histoire naturelle de Paris, membre de la Commission Technique du Ministère de l'Agriculture chargé des mission en Algérie, le voyageur anglais *Thomas Show* a été témoin de l'invasion de 1724-1725 en Algérie. Il a laissé une description de l'insecte d'une exactitude remarquable. La première qui permette de reconnaître l'envahisseur et de confirmer qu'il s'agit bien du Criquet pèlerin. Il a vu les « sauterelles » commencer à apparaître dans le Tell, au nord de l'Algérie, à la fin mars, le vent ayant soufflé du sud quelque temps auparavant. Vers le milieu d'avril, elles étaient si nombreuses qu'au plus fort du jour elles formaient des nuées qui obscurcissaient le soleil.

De nombreux documents se rapportant aux invasions en Afrique du Nord en général, et en Algérie en particulier, à partir de la fin du 1^{er} millénaire existent mais ne permettent pas d'attribuer ce qui revient à chacune des deux espèces acridiennes pouvant être en cause. Durant cette époque l'Algérie a connu dix invasions et/ou recrudescences dues aux criquets pèlerins. Tous les faits suivant sont rapportés par K. d'Herculais (1905):

- invasions dans le Maghreb d'après le Roudh-El Kartas en 971, 987, 1220, 1227, 1279 après J-C, souvent accompagnées de disette ;
- invasion dans le nord de l'Afrique et dans l'île de Chypre en 1355 d'après Palmerius;
- invasions dans le nord de l'Afrique au XVII^e siècle d'après Abou-Salem-El Aïchi : présence des sauterelles dans la Tunisie en 1663;
- invasion dans le nord de l'Afrique au XVIII^e siècle ;
- dévastation du Maroc et du sud de l'Algérie en 1724 et en 1725 d'après Show et Peyssonnel;

- invasion et dévastation du Maroc de 1760 à 1768 d'après Ghost ;
- invasion et dévastation du Maroc de 1778 à 1780 et 1798 à 1800 d'après Chénier et J-G. Jakson ;
- invasion de l'Algérie en 1784 d'après Desfontaine ;
- invasion de l'Algérie et du Maroc en 1813-1814 et 1814-1815 d'après M. Ismaël, Hemso et Renaudot ;
- invasion de l'Algérie de 1822 et de 1824.

1.2.1.1.2: De la conquête de l'Algérie à l'indépendance

Depuis 1830, l'Algérie a connu 50 années d'invasions et/ou recrudescences dues aux criquets pèlerins :

- invasion de 1845-1846 ;
- invasion de 1848-1849-1850 ;
- invasion et recrudescence de 1864-1865-1866-1867 ;
- invasion de 1870 ;
- invasion et recrudescence de 1873-1874-1875-1876 ;
- Invasion de 1877-1878 ;
- invasion de 1891-1892 ;
- invasion de 1895-1896 ;
- invasion de 1899-1902 ;
- invasion de 1914-1919 ;
- invasion de 1927-1934 ;
- invasion de 1944-1945-1946 ;
- invasion et recrudescence de 1953-1961.

L'invasion des plus néfastes fut certainement celle de 1863-1867 qui a engendré, durant la seule année 1866, dans les trois provinces algériennes de l'époque, des pertes estimées à 19.652.981 francs (équivalent à 3 milliards de francs de 1952). Ce chiffre ne traduit qu'insuffisamment le désastre subi et surtout les conséquences directes sur les populations. La sécheresse de 1867 aidant, cette invasion a en effet déclenché une terrible famine. Le choléra puis le typhus firent des ravages dans les populations. La situation lors de cette année

« âm echchar » fut plus que terrible, horrible : 500.000 victimes ont été recensées dans toute l'Algérie (Kunckel d'Herkulais, 1905).

1.2.1.1.3: Après l'indépendance

Après l'indépendance, l'Algérie a connu 10 années d'invasions et de recrudescences dues aux criquets pèlerin. Les principales années concernées sont par ces événements sont :

- 1968 : recrudescence;
- 1980 : recrudescence;
- 1987-1988 : invasion;
- 1994-1995-1996 : recrudescences ;
- 2004-2005: invasion.

Au total, sur une période de 180 années, l'Algérie a connu plus de 60 années d'invasion ou de recrudescence liées au criquet pèlerin, ce qui correspond à un événement acridien majeur tous les trois ans en moyenne (fig. 10). La distribution dans le temps n'est cependant pas régulière. Si les invasions du passé duraient souvent très longtemps, le nombre de degrés carrés contaminés mensuellement par des essaims depuis 1930, montre une nette amélioration au cours des 50 dernières années avec des recrudescences ou invasions toujours très fréquentes, mais de durée beaucoup plus courte que par le passé car maîtrisées beaucoup plus rapidement. Au final, entre 1830 et 1962 on observe une moyenne de 23 événements acridiens pour 133 années et de 1963 à 2010 de 5 événements acridiens pour 48 années (fig. 11). Il faut voir là l'effet positif de l'amélioration des connaissances sur cet insecte, de la mise au point d'une stratégie de prévention efficace à partir des années 60 et du perfectionnement important des méthodes et techniques de lutte (Lecoq 2001, 2005 ; Magor *et al.*, 2008 ; Sword *et al.*, 2010).

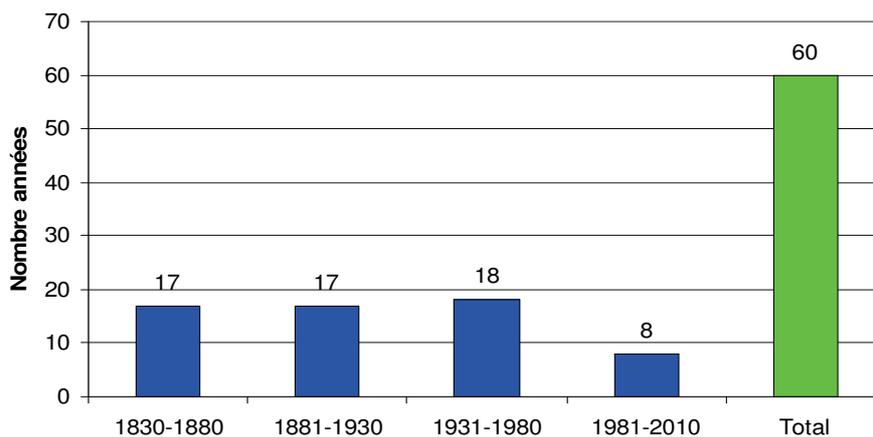


Figure 10 : Nombre d'années d'invasion et de recrudescences depuis 1830.

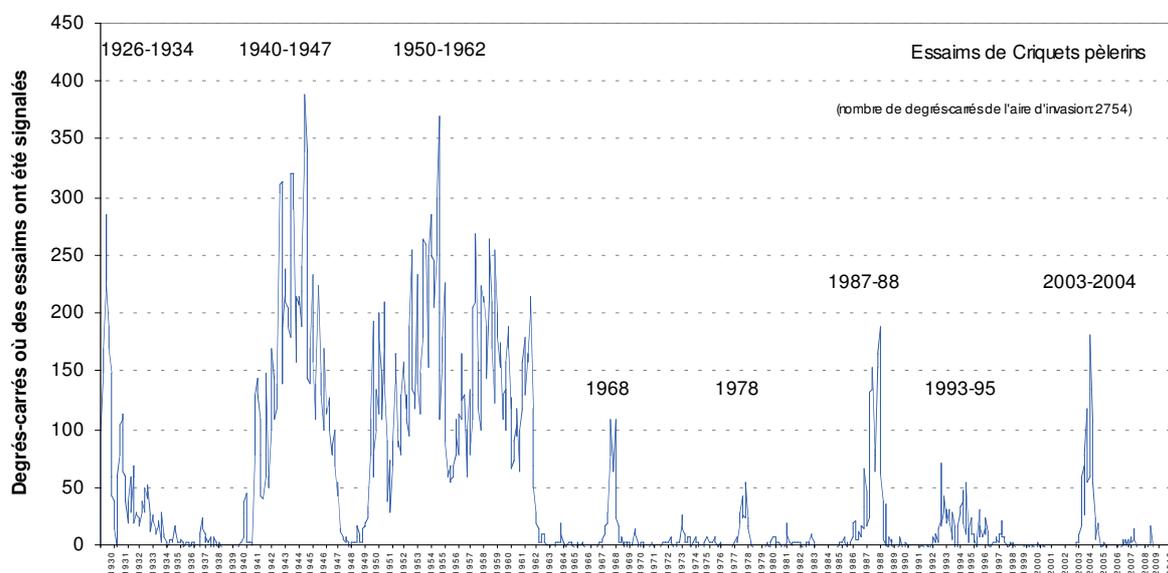


Figure 11 : Nombre d'essais par degré carrés et par mois depuis 1930 (Lecoq, 2010).

1.2.1.2: L'organisation de la lutte acridienne en Algérie

1.2.1.2.1: La lutte antiacridienne durant l'époque coloniale

Pendant la période coloniale, la lutte contre les acridiens en Algérie était régie par la loi du 25 septembre 1919 et par les arrêtés préfectoraux du janvier 1921 (Alger, Oran, Constantine). La lutte était confiée à des Syndicats obligatoires de défense (Pasquier, 1945), ayant à leur tête un comité directeur élu. Ces Syndicats, comprenant tous les exploitants du sol, étaient tenus de concourir à la lutte gratuitement, par eux-mêmes et avec tous les moyens dont ils

disposaient. Ils recevaient du service de la défense des cultures toutes instructions utiles concernant les opérations de lutte à entreprendre.

Les autorités locales (maires et administration) ne prenaient pas part directement aux opérations de destruction dont l'initiative était laissée aux syndicats, mais, par contre, elles étaient tenues de guider cette initiative dans les meilleures conditions et de contrôler l'emploi des sommes mises à la disposition du Comité directeur, l'utilisation de la main d'œuvre réquisitionnée, ainsi que celle du matériel et des ingrédients fournis par la Colonie. Elles veillaient à ce que des procès-verbaux soient dressés contre les propriétaires défaillants et à ce que des poursuites soient exercées à leur égard (Rovira, 1926).

Les syndicats de défense des cultures agissaient principalement au niveau des zones Nord. Dans les régions Sud, particulièrement au Sahara septentrional, les opérations de lutte étaient le plus souvent menées par les militaires. Dans ces régions, la signalisation, était assurée par des postes antiacridiens installés le long des couloirs de passage des essaims. Ces postes étaient pour la plupart, sous la responsabilité des autorités locales, civiles et militaires.

Néanmoins, la lutte contre les ennemis des cultures en général, et contre le criquet pèlerin en particulier, pour être efficace, nécessite impérativement la parfaite connaissance des biotopes, de la biologie et du comportement de l'insecte. C'est dans cet ordre d'idées que fût initié, durant les années quarante, un organisme spécialisé dans la recherche et la collecte d'informations dans le domaine du Criquet pèlerin.

Cet organisme, l'Office national anti-acridien (O.N.A.A.) dont la création remonte à février 1944, est venu en appui aux structures déjà existantes. Installé dans les locaux de l'Institut Agricole d'Algérie à Maison Carrée (respectivement INA/ENSA et El Harrach aujourd'hui) et doté d'un Conseil d'Administration, cet office a été dirigé par d'éminents chercheurs et scientifiques de l'époque tels que le Professeur Pasquier et B. Zolotarevsky. Il avait les missions suivantes :

- créer un laboratoire de recherche ;
- constituer un fonds documentaire et scientifique très riche (création d'une bibliothèque et de collections de référence) ;
- éditer un bulletin semestriel consignant l'ensemble des travaux intéressant le domaine acridien ;

- installer des postes d'observation ducricquet pèlerin complémentaires aux réseaux de surveillance territoriaux.

1.2.1.2.2: La lutte antiacridienne après l'indépendance

A l'indépendance, les opérations de surveillance et de lutte contre le criquet pèlerin sont devenues du ressort de l'Etat et confiées au Ministère de l'Agriculture. En effet, durant les premières années de l'indépendance, la lutte antiacridienne était assurée par la Sous-Direction de la Protection des végétaux relevant de la Direction de la Production Végétale du Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire. Cette Sous-Direction était chargée de définir une stratégie à même de contenir le fléau acridien et d'organiser toutes les opérations de prospection et de lutte nécessaires. A cette époque, la gestion des moyens humains et matériels était centralisée au niveau d'une structure, existante déjà dans les années cinquante, appelée Dépôt de Lutte Antiacridienne.

Le fléau acridien nécessite une intervention rapide avec des moyens considérables pas toujours disponibles au niveau de la structure en charge. Pour cela, la collaboration et l'implication de structures appartenant à d'autres secteurs que celui de l'Agriculture ont été jugées indispensables. C'est dans ce cadre qu'un Comité Interministériel de Lutte Antiacridienne (CILA) a été créé, par décret présidentiel, en 1967. Ce Comité, composé de représentants de différents ministères, était présidé par le Directeur de la Production végétale du Ministère de l'agriculture de la réforme agraire. La principale mission du CILA était de faciliter la lutte antiacridienne en proposant toutes mesures de nature à contribuer à la rapidité et à l'efficacité de l'intervention des services compétents du Ministère de l'Agriculture et en veillant à leur exécution immédiate.

Avec la création du CILA, l'Algérie venait ainsi de se doter d'un important organe de décision qui allait permettre, par la suite, de rendre les opérations de lutte plus efficaces. Quelques années plus tard, l'importance stratégique de la protection des végétaux a conduit les Autorités compétentes à revoir son organisation de manière générale.

C'est ainsi qu'au mois de février 1975, fut créé l'Institut national de la protection des végétaux (INPV) auquel était confié la responsabilité de la lutte antiacridienne. Au sein de l'INPV, la gestion du problème acridien a été confiée au Département d'intervention et

coordination (DIC). Après réaménagement des statuts en 1993, les missions de l'INPV, pour ce qui est de la lutte antiacridienne ont été réaffirmées comme suit :

- organiser et conduire en période de rémission les opérations de surveillance et de lutte contre le criquet pèlerin en zones sahariennes ;
- élaborer et coordonner, en période d'invasion, la mise en œuvre et l'exécution des programmes de lutte notamment contre le criquet pèlerin et le criquet marocain.

1.2.1.2.3 : Cadre juridique actuel de la lutte antiacridienne

Actuellement, l'organisation de la lutte contre le criquet pèlerin s'appuie sur un certain nombre de textes réglementaires (annexes 2). Parmi ces textes, il y a lieu de citer :

- la loi n° 67-17 du 1^{er} août 1987, relative à la protection phytosanitaire ;
- le décret n° 67-177 du 31 août 1967, portant création du Comité Interministériel de lutte Antiacridienne (CILA) ;
- le décret n° 85-231 du 25 août 1985, fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en œuvre des interventions et secours en cas de catastrophe ;
- le décret n°85-232 du 25 août 1985, relatif à la prévention des risques de catastrophe ;
- le décret n°93-139 du 14 juin 1993, portant réaménagement des statuts de l'INPV ;
- l'instruction interministérielle n°1 du 13 juillet 1988, relative à la prévention et à la lutte contre le criquet pèlerin ;
- l'instruction interministérielle n°2 du 16 octobre 1988, relative à la transmission de l'information acridienne ;
- la décision ministérielle n°945 SM du 28 juillet 1993, portant la mise en place d'un Poste de commandement central de lutte antiacridienne (PCC/LAA).

1.2.2: Stratégie et organisation actuelle de la lutte antiacridienne

1.2.2.1 : La stratégie de lutte antiacridienne en Algérie

1.2.2.1.1 : Les fondements de la stratégie de lutte contre le criquet pèlerin

Ainsi que nous l'avons vu plus haut (1.3) le risque naturel représenté par les pullulations acridiennes en général et le criquet pèlerin en particulier, peut être géré efficacement par l'application de stratégies de prévention dont les bases scientifiques existent. Cette stratégie préconisée par les experts de la FAO a été appliquée avec un certain succès depuis les années 1960. Elle consiste à surveiller en permanence les aires d'origine des invasions (les aires dites grégarigènes) et à noter tout spécialement les conditions écologiques favorables au développement des populations acridiennes. Si cette surveillance est effectuée régulièrement, les premières pullulations de populations transiens congregans peuvent être détectées et détruites par des interventions de lutte sur des superficies limitées, avant que les zones cultivées ne soient attaquées et que l'invasion ne se propage.

Actuellement, la biologie du criquet pèlerin est bien connue et ses aires grégarigènes sont relativement bien localisées. Les biotopes les plus favorables, regroupés au sein des zones de grégarisation devant être surveillés préférentiellement, sont le plus souvent caractérisés par des sols sableux ou sablo-argileux. Ils sont généralement liés au réseau hydrographique et correspondent à des zones d'épandage d'oueds et à des cuvettes endoréiques où les apports en eau sont plus ou moins importants et les ressources hydriques bien supérieures à la seule pluviosité locale. Dans certains cas, le bassin versant où sont collectées les eaux de pluie peut être distant à plus d'une centaine de kilomètres des sites d'épandage qui constituent des biotopes grégarigènes. Dans d'autres cas, les réserves hydriques accumulées sont importantes et restent disponibles durant plusieurs mois.

Dans les biotopes de grégarisation, deux facteurs écologiques jouent un rôle prépondérant :

- la pluie favorisant la maturation sexuelle, la ponte, le développement embryonnaire et celui de la végétation ;
- la végétation se développant après les pluies (directement dans les zones de pluies ou dans les zones d'épandage) et offrant abri, perchoir et nourriture nécessaire pour la croissance des jeunes larves et des imagos.

Dans le cadre d'un système d'alerte précoce destiné à gérer préventivement les invasions de criquets, ce sont ces zones qu'il convient de mieux connaître. Il faut améliorer la localisation et la cartographie des biotopes potentiels du criquet pèlerin, et disposer de moyens pour contrôler régulièrement l'évolution des conditions écologiques (pluies, végétation) pouvant favoriser la concentration, la reproduction et la grégarisation des populations acridiennes, prélude au déclenchement des pullulations, des recrudescences et des invasions. Afin de collecter ces informations sur les conditions écologiques favorables au déclenchement des pullulations, dans tous les pays concernés, et en particulier en Algérie, des équipes de prospection sont déployées durant toute l'année dans ces aires grégarigènes. En fonction du cycle du criquet et de l'évolution saisonnière des conditions écologiques, des itinéraires de prospections sont établis mensuellement. Un tel dispositif est cependant coûteux du fait de l'étendue des zones à prospecter et des conditions topographiques particulièrement difficiles dans de nombreuses régions désertiques. Toute information concernant soit la délimitation plus précise des zones potentielle de grégarisation, soit l'apparition de conditions écologiques favorables à cette grégarisation, est donc un élément capitale pour mieux organiser les opérations de surveillance et de prévention, en limiter les coûts et les rendre plus efficaces.

La stratégie de lutte est cependant différente selon que l'on est en période de rémission – où il s'agit alors de faire une prévention la plus efficace possible – ou en période d'invasion où l'on doit alors détecter le plus efficacement possible, et combattre, des formations grégaires souvent très mobiles.

1.2.2.1.1: Stratégie de lutte antiacridienne en période de rémission

En période de rémission, la stratégie utilisée est la lutte préventive, qui s'articule autour d'une surveillance permanente des aires grégarigènes se trouvant au Sahara méridional (régions frontalières avec le Mali et le Niger) et au Sahara central (Ahnet, Mouydir, zones d'épandage des eaux de pluies du versant Est/Nord-Est du plateau de Tademaït et du versant Nord du Tassili N'Ajjers).

La prospection et la lutte en période de rémission sont réalisées par des équipes de surveillance et d'intervention dotées de moyens roulants et de traitements appropriés et qui opèrent durant les périodes favorables au développement du criquet dans les régions circonscrites. Cette stratégie a donné d'excellents résultats durant les années 1962-1996, car elle a permis d'éviter des recrudescences importantes du fléau acridien à partir du territoire algérien, particulièrement en 1968, 1974-1975, 1980-1981 (Chara, 1998).

1.2.2.1.2: Stratégie de lutte en période d'invasion

La période d'invasion la lutte prend alors un aspect curatif et doit se charger de la destruction des essaims et des bandes larvaires suivant une stratégie basée entre autres sur :

- les caractéristiques biologiques et écologiques de l'insecte ;
- les couloirs empruntés par les essaims lors de leurs déplacements en territoire algérien ;
- la répartition spatio-temporelle des aires de survie et de reproduction de l'insecte en période d'invasion ;
- l'importance des zones agricoles à protéger.

En période estivale (mi-juillet à fin octobre), les interventions du dispositif national concernent le Sahara méridional où s'effectue la reproduction estivale et par où transitent les essaims qui envahissent l'Algérie en provenance des pays du Sahel africain et de l'Afrique de l'Est. Ce dispositif estival de prospection et de lutte constitue une première barrière devant localiser et détruire les populations acridiennes produites localement et celles qui s'infiltrent en Algérie à partir de ses frontières Sud. Dès la mi-septembre le dispositif s'étend au Sahara central pour tenter d'intercepter les essaims, les détruire et contribuer ainsi à la protection des oasis qui s'y trouvent.

Les essaims qui échappent à la lutte pendant la phase estivale rejoignent généralement les zones d'écoulement et d'épandage des eaux de pluies se trouvant au niveau du piémont Sud de l'Atlas saharien, où ils se stabilisent durant l'hiver et le début du printemps. Le maintien des populations acridiennes durant cette période dans les régions septentrionales du Sahara intervient suite à la baisse des températures qui limitent considérablement leur mouvement et freinent l'activité génésique.

Pour détruire les formations acridiennes qui atteignent éventuellement ces régions, il est procédé à une translation vers le Nord des équipes en place au Sahara méridional et central et à leur renforcement, de sorte que le dispositif terrestre couvre l'ensemble des zones à risque. Ce dispositif terrestre est renforcé au début du printemps par une couverture aérienne.

1.2.2.2: La veille météorologique

Considérant que la stratégie développée ne peut avoir l'efficacité requise qu'en s'appuyant sur un réseau météorologique relativement dense (fig. 12) en raison de l'importance de la pluie

et des autres paramètres météorologiques dans le déclenchement des recrudescences, les services algériens de lutte antiacridienne, en concertation avec le Secrétariat de la CLCPANO (Commission FAO de lutte contre le criquet pèlerin en Afrique du Nord-Ouest) et les services nationaux de la météorologie, ont développé une approche destinée à couvrir les zones à risque acridien en stations météorologiques.

Le cadre de collaboration entre l'INPV et l'Office national de la météorologie (ONM) a été formalisé par une convention signée au début des années quatre-vingt entre le Ministère de l'Agriculture, la Direction de l'aviation civile et la Météorologie nationale et un protocole d'application a vu le jour en septembre 1995. Avec cette convention et ce protocole, les services de l'ONM doivent assurer la veille météorologique en période de rémission comme en période d'invasion :

La veille météorologique en période de rémission :

- une veille météorologique permanente au niveau national et régional notamment sur l'aire de rémission et de grégarisation du criquet pèlerin par l'exploitation de l'ensemble du réseau d'observation classique et automatique se trouvant dans la zone sahélo- saharienne disponible sur le système mondial de télécommunication (SMT) ;
- la fourniture régulière des données pluviométriques recueillies par les stations d'observation couvrant les zones de rémission du criquet pèlerin ;
- une analyse mensuelle de la situation météorologique ayant prévalu dans la région occidentale de l'aire d'habitat du criquet pèlerin ;
- la mise à la disposition de l'INPV des images satellites.

La veille météorologique en période d'invasion :

- les relevés pluviométriques des stations synoptiques et automatiques de l'Algérie ;
- l'analyse des champs de vents pour étudier les mouvements des essaims et les directions empruntées ;
- les relevés pluviométriques des pays Sud : Tchad, Niger, Mali et Mauritanie ;
- une prévision météorologique à courte échéance sur la zone saharo-sahélienne et les données météorologiques décennales des pays de la zone centrale de l'aire d'invasion : Soudan, Erythrée, Arabie Saoudite et Yémen ;
- une analyse météorologique globale à la fin de chaque campagne.

La veille météorologique est assurée par des stations synoptiques et des stations automatiques complémentaires. Les stations automatiques ont été acquises en 1990 par le Centre régional de la veille acrido-météorologique (CREVAM) de Tamanrasset, qui a un rayonnement régional (pays du Sahel compris). Ces stations, destinées exclusivement aux prévisions en matière de lutte antiacridienne, viennent en complément des stations météorologiques synoptiques existantes.

Ce réseau de stations automatiques est composé de 27 stations de type EOLEE 200 et de 100 stations de type MIRIA munies d'un certain nombre de capteurs sensibles pour la pluie, la température, le vent, etc... Ces stations transmettent les informations, soit en temps réel (EOLEE 200), soit en temps différé (MIRIA).

La fiabilité des données reçues de ces stations automatiques a l'objet de controverses notamment pour le paramètre pluie, lorsque ces stations sont installées en milieu désertique où sévissent fréquemment des vents de sable. Pour améliorer la prévision des pluies et le suivi de la végétation, le CREVAM, en collaboration avec l'Université de Reading (TAMSAT) et le Natural Resources Institute (NRI) en Grande-Bretagne, s'est doté d'équipements pour la réception de données des satellites Météosat et NOAA.

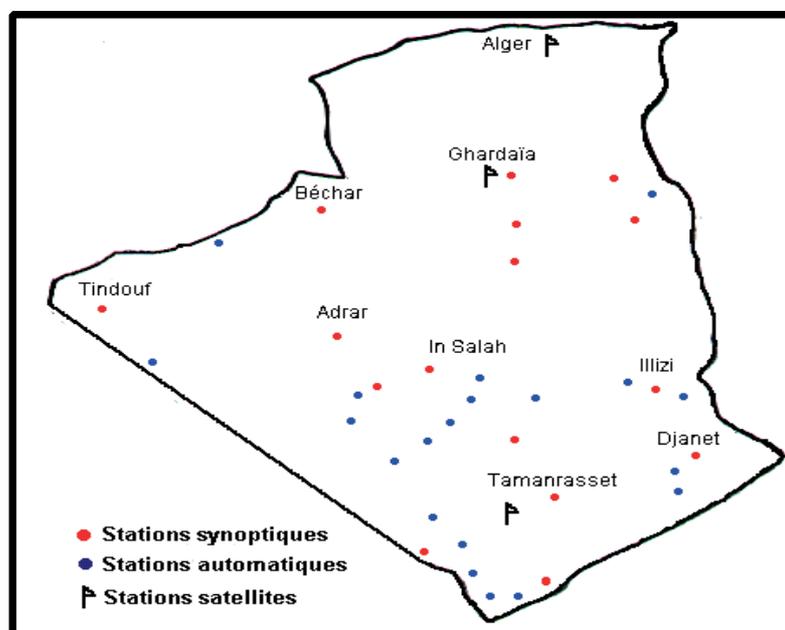


Figure 12 : Réseau des stations météorologiques de l'ONM exploité pour la surveillance du criquet pèlerin.

1.2.2.2.3 : Utilisation de la télédétection

Afin d'optimiser le travail des équipes de prospection et de détecter plus rapidement et plus précisément l'apparition de conditions favorables, la télédétection est un outil quasi-incontournable d'identification des zones à risque.

Plus tard, plusieurs projets FAO ont été mis en œuvre au niveau de l'aire de rémission du Criquet pèlerin dont l'Algérie où 2 projets ont été réalisés, l'un en 1977 et l'autre en 1979, dans les régions du Tassili N'Ajjer et du Hoggar utilisant à la fois les images satellites, des ressources terrestres et météorologiques.

L'Office national de la météorologie (ONM) ayant été le principal bénéficiaire de ces projets, fournit régulièrement à l'Institut national de la protection des végétaux (INPV) les informations relatives à l'évolution des paramètres climatiques afin d'établir des programmes de prospection plus opérationnels.

Par ailleurs, l'INPV a conjointement utilisé en 1979 avec la Commission de lutte contre le Criquet pèlerin en Afrique du nord-ouest (CLCPANO), les images satellites en lutte antiacridienne, mais essentiellement météorologiques de type météosat et NOAA pour l'évaluation et l'estimation qualitative et quantitative des précipitations au niveau de l'aire de rémission du Criquet pèlerin en Afrique du nord ouest.

Depuis 2002, l'INPV utilise pour les besoins de la lutte antiacridienne des images satellitaires pour la mise en évidence des traces de verdure dans les steppes et dans les dépressions des oueds (données de type Spot-Végétation).

Le système de surveillance a été renforcé à partir de mars 2003, par de nouvelles images plus précises du satellite Alsat1, fournies également gratuitement par l'Agence spatiale algérienne (ASAL) en fonction de la demande de l'INPV. La résolution de ces images est de 32 m.

Les images satellitaires ont permis à l'INPV de déployer ses équipes au niveau des zones vertes repérées par satellite et pouvant éventuellement abriter des populations acridiennes.

Au regard des périodes d'activité acridienne en Algérie - printanière et estivale - une attention particulière est donnée aux régions sahariennes. Ainsi, en période printanière, c'est tout le Sahara central qui est « passé à la loupe » afin de repérer les principaux oueds abritant des zones de verdure, alors qu'en période estivale, c'est l'extrême sud algérien qui est essentiellement la cible des investigations.

1.2.2.3: Le dispositif de surveillance et de lutte

1.2.2.3.1: Historique

Dans les années quarante, le dispositif de surveillance et de lutte était composé des réseaux de signalisations territoriaux (Syndicats de défense contre les « sauterelles ») qui opéraient exclusivement au niveau des hauts plateaux et des plaines Telliennes en période d'invasion et des postes d'observation complémentaires implantés au niveau des régions situées principalement au Sahara méridional : In Azaoua, Silet et le Mouydir. Ce dispositif avait pour objectif de détecter les premières manifestations d'essaims en vue d'organiser les opérations de lutte au niveau des zones agricoles du Nord.

A partir du début des années soixante, le dispositif de surveillance et de lutte a été reconfiguré avec l'idée de mettre en œuvre une stratégie de lutte préventive telle recommandée à l'époque par le DLCC et la FAO (Réf...). En effet, un dispositif de surveillance constitué d'équipes itinérantes était déployé au niveau des zones sahariennes. Ces équipes opéraient durant toute l'année au niveau des régions sahariennes.

1.2.2.3.2: Configuration actuelle du dispositif de surveillance et de lutte en rémission et en invasion

Période de rémission

En période de rémission les opérations de surveillance et de lutte sont gérées par l'INPV. Le nombre d'équipes opérant oscille entre deux en période estivale et six équipes en période hiverno-printanière. Ce nouveau dispositif permet une surveillance plus efficace, un gain de temps très appréciable et bien évidemment une substantielle économie financière.

Période d'invasion

En période d'invasion, les opérations de lutte sont gérées par la Poste de Commandement Central (PCC) sous la supervision du Comité Interministériel de Lutte Antiacridienne (CILA).

Au niveau central le PCC est composé des représentants des Ministères de :

- l'Agriculture et du développement rural ;
- la Défense nationale ;
- l'intérieur et des collectivités locales ;
- des transports ;

- l'énergie ;
- la poste et des technologies de l'information et la communication ;
- la santé, de la population et de la reforme hospitalière ;
- l'aménagement du territoire et de l'environnement ;
- l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.

Le poste de commandement central de lutte anti-acridienne s'appuie pour son fonctionnement, sur douze (11) cellules opérationnelles regroupant les représentants des ministères. Les différentes cellules sont comme suit :

- cellule de l'information et analyses des données acridiennes ;
- cellule de la logistique ;
- cellule de la gestion des pesticides ;
- cellule de la gestion du personnel ;
- cellule de la gestion du dispositif aérien ;
- cellule météorologie ;
- cellule de la protection de l'homme, des animaux et de l'environnement ;
- cellule de la formation ;
- cellule de la recherche ;
- cellule de financement ;
- cellule d'aide à la décision.

Le poste de commandement central est chargé de :

- l'organisation du fonctionnement des dispositifs de lutte anti-acridienne ;
- la coordination des activités y afférents. L'animation et du suivi des cellules spécialisées,
- l'adaptation des dispositifs d'interventions

Au niveau régional, le PCC est représenté des postes de commandement des wilayas (PCW).

Le poste de commandement de wilaya regroupe les mêmes cellules et sous la responsabilité directe du Wali, assisté par le Directeur des services agricoles et un cadre spécialiste en lutte antiacridienne.

Tout le dispositif national repose sur plusieurs acteurs relevant de divers services, encadrés par les techniciens de l'INPV qui les accompagne en leur assurant des cycles réguliers de formation.

1.2.3: Exemple de l'invasion 2003-2005

L'Algérie a connu au début de l'année 2004 une recrudescence de l'activité du Criquet pèlerin qui s'est rapidement transformée en une véritable invasion. Cette invasion est le résultat d'une forte reproduction acridienne au niveau des pays du Sahel africain, particulièrement la Mauritanie, suite aux conditions pluviométriques exceptionnelles enregistrées durant l'été 2003 qui ont généré des conditions écologiques très favorables à une multiplication explosive des populations acridiennes.

Pour faire face à cette situation d'importants moyens ont été mobilisés sur l'ensemble du territoire national, à savoir les insecticides, les moyens d'intervention terrestres et aériens ainsi qu'un dispositif d'encadrement technique et logistique.

Des dispositions particulières ont été prises pour la gestion de l'invasion, notamment la mise en place d'un Poste de commandement central (PCC), relayé sur le terrain par des Postes de commandement de wilaya (PCW).

Des services relevant de plusieurs ministères ont participé au dispositif de surveillance et de lutte contre le Criquet pèlerin, dont les principaux sont : Direction des Services Agricoles (DSA), Direction Générale des Forêts (DGF), Haut Commissariat de Développement de la Steppe (HCDS), Direction Générale de la Protection Civile (DGPC) et collectivités locales.

1.2.3.1 : Historique générale de l'invasion de 2003-2005

1.2.3.1.1: Evolution de la situation acridienne en Algérie durant l'année 2003

L'année 2003 a été caractérisée sur le plan météorologique par une pluie régulière et importante sur l'ensemble des zones potentielles de reproductions du criquet pèlerin dans le sud algérien. Cette situation a permis l'installation d'une couverture végétale diversifiée dans tous les Oueds et zones d'écoulement et d'épandage des eaux des pluies.

Concernant l'activité acridienne, les premières signalisations des populations acridiennes à l'état de transiens ont été observées par les équipes de prospection et d'intervention

préventive à partir du mois d'octobre 2003 au niveau des zones potentielles de reproduction dans la wilaya de Tamanrasset.

1.2.3.1.2: Evolution de la situation acridienne en Algérie durant l'année 2004

Une activité très importante de criquet pèlerin a été enregistrée durant l'année 2004. Les premiers essaims sont arrivés en Algérie en provenance de la Mauritanie à partir du mois de février 2004 à la faveur des vents chauds de secteur sud qui ont touché la régions pendant trois jours.

Après cette date, plusieurs essaims sont infiltrés dans le territoire algérien touchant 30 wilayas (fig. 13).

1.2.3.1.3: Evolution de la situation acridienne en Algérie durant l'année 2005

Le début de l'année 2005 a été caractérisé par la persistance de l'activité acridienne sous forme d'essaims sur l'ensemble des wilayas déjà touchées.

Deux situations ont marqué la situation acridienne durant cette année :

- Le premier trimestre : signalisation de fortes infestations notamment dans les wilayas du sud l'Atlas saharien.
- Début de deuxième trimestre à ce jour : rétrécissement des signalisations à des infestations localisées des populations acridiennes en voie de dé-grégarisation.

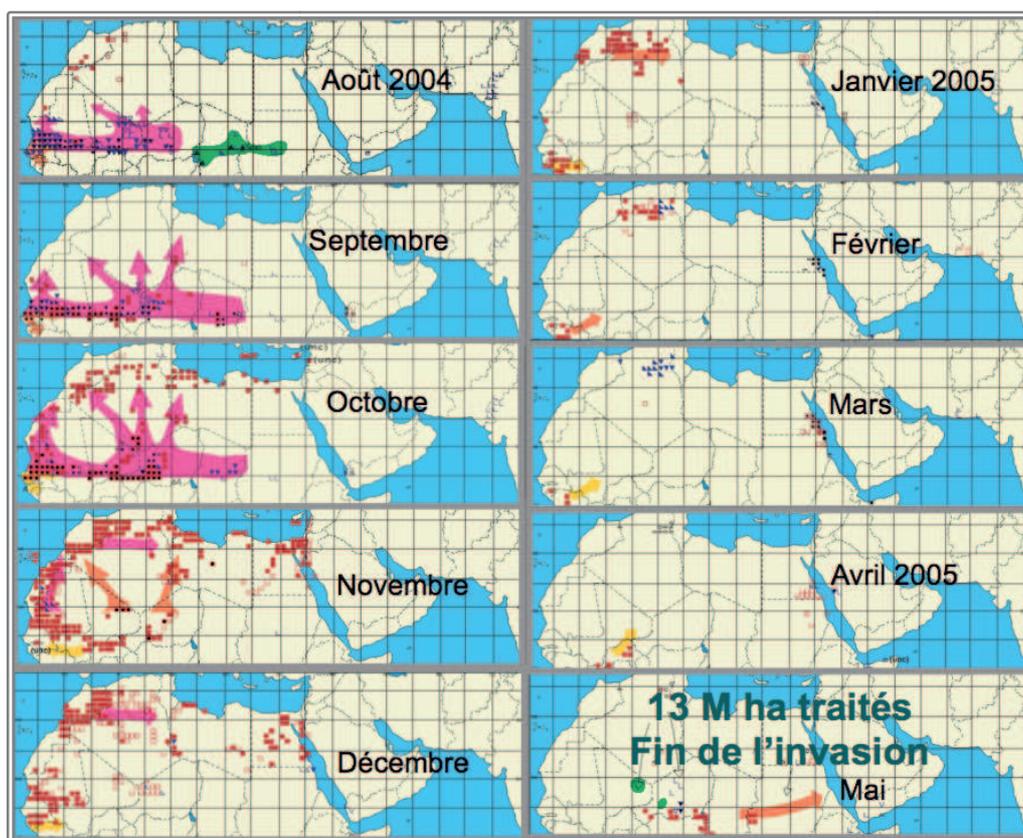
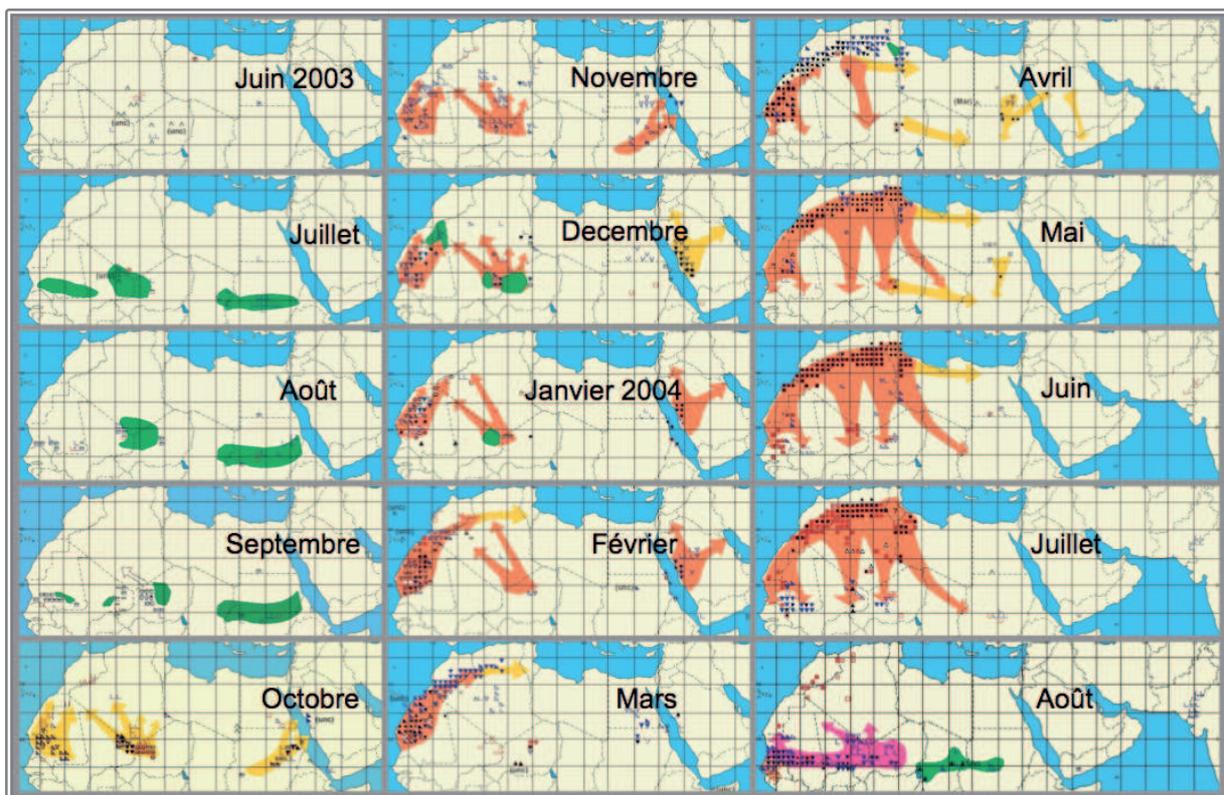


Figure 13 :Chronologie de l'invasion de juin 2003 à mai 2005 (source FAO/DLIS ; modifié d'après Lecoq 2005).

1.2.3.2: Organisation de la lutte durant l'invasion de 2003-2005

La situation décrite précédemment a nécessité une gestion de crise et plusieurs décisions importantes ont été prises pour assurer une meilleure organisation de la lutte aux niveaux central et régional.

1.2.3.2.1: Cadre juridique

La décision N° 721 du 01 Mars 2004 portant l'installation du poste de commandement central et régional de lutte anti-acridienne. Sous la supervision du Comité Gouvernemental permanent de lutte anti-acridienne (annexe).

1.2.3.2.2: Organisation de la lutte au niveau central

Au niveau central, l'organisation des opérations de lutte contre l'invasion est assurée par le Poste de Commandement Central. Le PCC est composé des représentants des Ministères de :

- l'agriculture et du développement rural ;
- la défense nationale ;
- l'intérieur et des collectivités locales ;
- des transports ;
- l'énergie ;
- la poste et des technologies de l'information et la communication ;
- la santé, de la population et de la réforme hospitalière ;
- l'aménagement du territoire et de l'environnement ;
- l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.

Le poste de commandement centrale de lutte anti-acridienne s'appuie pour son fonctionnement, sur 12 cellules opérationnelles regroupant les représentants des ministères. Les différentes cellules concernent:

- informations et analyses ;
- logistique ;
- insecticides ;
- personnel ;
- relations avec MDN ;
- relations avec la compagnie aérienne Tassili Airlines ;

- météorologie ;
- protection de l'homme, des animaux et de l'environnement ;
- formation ;
- recherche ;
- financement ;
- aide à la décision.

1.2.3.2.3: Organisation de la lutte au niveau régional

Le poste de commandement central est représenté au niveau régional par des postes de commandement des wilayas (PCW). Ces derniers sont placés sous la responsabilité directe du Wali de la wilaya.

Le poste de commandement de wilaya s'appuie pour son fonctionnement sur plusieurs cellules :

- cellule chargée de la coordination,
- cellule chargée de l'information et analyse de la situation acridienne,
- cellule chargée de la logistique,
- cellule chargée des insecticides,
- cellule chargée de la météorologie,
- cellule chargée de santé et environnement.

Les différentes cellules regroupent des représentants de plusieurs secteurs relevant de divers services impliqués dans les opérations de lutte à savoir :

- la santé,
- l'environnement,
- les forêts,
- la météorologie,
- la protection civile,
- l'intérieur et les collectivités locales.

1.2.3.2.4: Organisation du dispositif de lutte

❖ Dispositif dit « en placement de fronts »

Pour faire face à l'invasion acridienne, le dispositif de surveillance et de lutte a été organisé en 3 fronts pour stopper les mouvements progressifs des essaims du sud vers le nord:

- Premier front : il regroupe les 7 wilayas frontalières situées au sud-ouest du pays ; ce sont les premières wilayas qui ont commencé d'intercepter les infiltrations des essaims de criquet pèlerin.
- Deuxième front : il regroupe les 8 wilayas de piémonts Sud de l'Atlas Saharien, touchées par l'invasion à partir du mois de mars.
- Troisième front : il regroupe les wilayas telliennes (situées dans l'Atlas tellien), qui ont été touchées par l'invasion à partir du mois de mai 2004 (fig. 14).

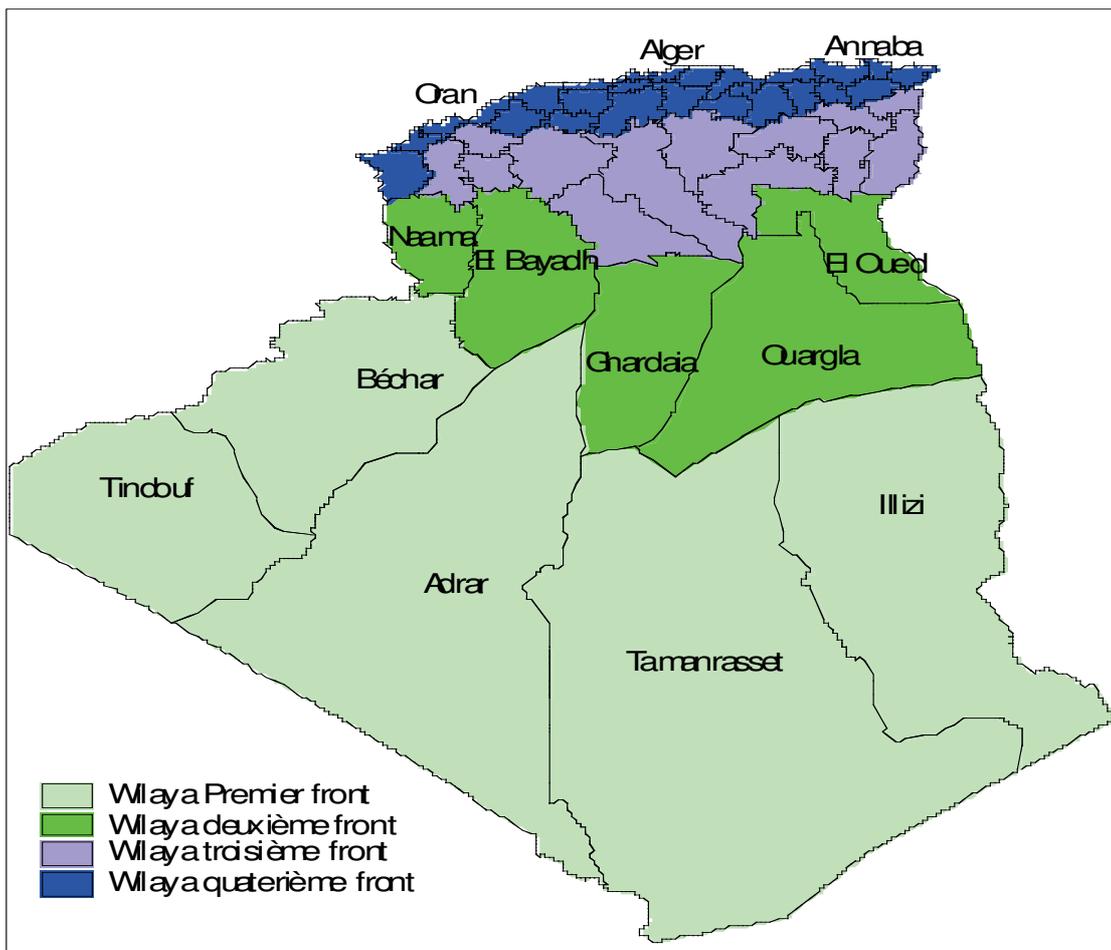


Figure 14 : Emplacement des fronts et wilayas.

❖ Moyens humains et matériels mobilisés

Au niveau de chaque front, des moyens d'intervention ont été mis en place représentés par des véhicules tous terrains de prospection, des véhicules tous terrains de traitements, des aéronefs, des quantités importantes de pesticides, des moyens de navigation et des moyens de transmission.

- Moyens humains

Au cours de la campagne 2004, le dispositif de lutte antiacridienne a mobilisé 45.300 agents d'encadrement et d'intervention. Ce dispositif repose sur cinq modules opérationnels :

- les services spécialisés du MADR (*Institut National de la Protection des Végétaux (INPV), Directions des Services Agricoles(DSA) Direction Générale des Forêts(DGF)Haut Commissariat du Développement des Steppes(HCDS) ;*
- les services de la protection civile ;
- les agriculteurs ;
- les collectivités locales ;

- Moyens matériels

Les moyens matériels mobilisés au cours de cette campagne ont regroupé :

- 217 véhicules de prospection/surveillance ;
- 619 véhicules de traitement ;
- 1.274 pulvérisateurs tractés ;
- 27.300 pulvérisateurs individuels ;
- 1.205 citernes aménagées ;
- 65.900 kits de protection ;
- 13 aéronefs dont 03 pour la prospection (hélicoptère) ;
- 4.600.000 litres de pesticides.

❖ Traitements antiacridiens

Au cours de la cette campagne 2004 et 2005, les traitements contre le criquet pèlerin ont touché une superficie de 4.576.906 ha au niveau des 30 Wilaya concernées, dont 636.184 hapar voie aérienne (tableau 1). Soixante treize pour cent (73 %) de la superficie globale traitée l'a été par des équipes spécialisées (terrestres et aériennes) et le reste, soit 27%, par d'autres acteurs, à savoir :

- les services spécialisés du Ministère de l'agriculture et du développement rural (INPV, DSA, DGF,HCDS) ;
- les services de la protection civile ;
- les agriculteurs ;
- les collectivités locales.

Tableau 1: Superficies traitées par wilaya durant l'invasion 2004/2005.

Wilayas	2003	2004	2005
Tamanrasset	2503	117593	12515
Tindouf		199235	
Bechar		132434	5437
Naama		323637	3265
El Bayadh		473081	120965
Adrar		159585	814
Ghardaïa		222346	88849
Laghouat		312618	43008
Djelfa		494761	64960
El Oued		261805	223038
Ouargla		62590	33098
Biskra		112807	32463
Khenchela		62355	17193
Tébessa		32747	1260
Illizi		23492	2135
S.B.A		195602	1228
Saida		124055	581
Tlemcen		112984	300
Tiaret		214271	
Médéa		51354	
Batna		21333	
O.E.B		620	
M'Sila		170033	
Bouira		4537	
B.B.A		4095	
Sétif		1659	
Ain Defla		1365	
Mascara		10300	
Chlef		167	
relizane		140	
Total	2503	3933601	640802
Total Général	4576906 ha		

1.2.4: Les nouvelles technologies et l'amélioration de la surveillance et de la prévention

1.2.4.1. Délimitation plus précise des aires grégarigènes

L'utilisation des nouvelles technologies comme la télédétection de la végétation par les images satellitaires, le stockage et l'analyse des données de terrain sous un système d'information géographique ainsi que l'installation de nouvelles stations météorologiques, a conduit à une nouvelle configuration du dispositif national et à redéfinir les zones d'opérations ainsi que les périodes d'activités. En effet, ces nouveaux outils ont permis de circonscrire de façon plus ou moins précise les aires grégarigènes potentielles et de délimiter leur fonctionnement dans le temps.

Des zones très étendues ont de ce fait été carrément éliminées de la prospection car aucune activité de grégarisation n'y avait été enregistrée durant une vingtaine d'années ; par contre elles pouvaient sans doute servir de zones de multiplication en période de très forte activité acridienne (recrudescence et invasion).

Le Sud-ouest algérien, région allant de Tindouf à Béchar, en est un exemple. On peut citer également tout le Tanezrouft et le Sahara septentrional. Par contre, les zones favorables à la grégarisation couvraient les régions de l'extrême Sud du pays (zones frontalières avec le Niger et le Mali : Tamesna), le Mouydir, l'Ahnet, le versant Nord-Nord-Est du Tassili, les zones d'épandage des eaux de pluie du versant Est-Nord-Est du plateau de Tademaït et le plateau de Tinghert. Ces régions ont, de ce fait, été classées zones à haut risque et font désormais l'objet d'une attention particulière en matière de surveillance. Les équipes de surveillance et de lutte n'y interviennent cependant que durant les périodes favorisant le fonctionnement saisonnier de ces zones.

La stratégie actuelle de lutte se voulant préventive et reposant sur un système d'alerte précoce destiné à détecter le plus rapidement possible les conditions écologiques favorables et les toutes premières concentrations de criquets, avant le début d'une recrudescence ou d'une invasion, seuls des moyens satellitaires sont actuellement à même de fournir les possibilités de surveiller l'ensemble des zones concernées. En particulier pour les deux paramètres clés que sont la pluviométrie et le développement de la végétation.

1.2.4.2: Amélioration de la surveillance et de l'alerte précoce contre le criquet pèlerin

Le premier facteur clé de la prolifération du criquet pèlerin est la pluviométrie au niveau des aires grégarigènes. La reproduction s'amorce généralement avec les pluies, suivies du développement d'une couverture végétale favorable au développement des larves, deuxième facteur clé essentiel. Avec le dessèchement de la végétation, les criquets quittent ensuite la zone où ils sont nés, s'ils en ont la possibilité (stade ailé). Ils se déplacent alors avec les vents, à la recherche de milieux plus propices, allant d'une zone de reproduction à une autre, parfois fort éloignée. Les distances que les criquets parcourent peuvent varier de quelques centaines à plusieurs milliers de kilomètres.

Nous avons vu que la stratégie de prévention consiste à surveiller en permanence les aires grégarigènes et à noter tout spécialement les conditions écologiques favorables et le niveau des populations acridiennes. Si cette surveillance est effectuée régulièrement, les premières pullulations peuvent alors être détectées et détruites par des interventions de lutte préventive sur des superficies limitées, avant que les zones cultivées ne soient attaquées et que l'invasion ne se propage. Les coûts récurrents de la prévention et les superficies traitées ne représentent que quelques pourcents respectivement des aides d'urgence et des superficies traitées en curatif.

Les aires grégarigènes du criquet pèlerin sont maintenant parfaitement localisées. Dans ces zones, les biotopes les plus favorables, dits de grégarisation, sont les plus souvent caractérisés par des sols sableux ou sablo argileux. Ils sont généralement liés au réseau hydrographique et correspondent à des zones d'épandage d'oueds et à des cuvettes endoréiques où les apports en eau sont plus ou moins importants et les ressources hydriques bien supérieures à la seule pluviosité locale.

Dans certains cas, le bassin versant où sont collectées les eaux de pluies peut être distant de plus d'une centaine de kilomètres des sites d'épandage qui constituent des biotopes grégarigènes.

Dans d'autre cas, les réserves hydriques accumulées sont considérables et restent disponibles durant plusieurs mois. Dans ces biotopes de grégarisation, deux facteurs écologiques jouent un rôle prépondérant :

- La pluie qui va permettre la ponte, le développement embryonnaire et le développement de la végétation.

- La végétation se développant après les pluies (directement dans les zones de pluies ou dans les zones d'épandage) et offrant abri, perchoir et nourriture nécessaire pour le développement et la croissance des jeunes larves et des imagos.

Dans le cadre d'un système d'alerte précoce, ce sont ces zones qu'il convient de mieux connaître, il faut améliorer la localisation et la cartographie des biotopes potentiels du criquet pèlerin, et disposer de moyens pour contrôler régulièrement l'évolution des conditions écologiques (pluies, végétation) et l'apparition de conditions pouvant favoriser la concentration, la reproduction et la grégarisation de populations acridiennes.

Afin de collecter ces informations, concernant les conditions écologiques favorables, dans tous les pays concernés, et en particulier en Algérie, des équipes de prospection sont déployées durant toute l'année dans ces aires grégarigènes ainsi qu'il a été mentionné plus haut. En fonction du cycle du criquet et de l'évolution saisonnière des conditions écologiques, des itinéraires de prospection sont établis mois par mois. Un tel dispositif est cependant coûteux du fait de l'étendue des zones à prospecter et des conditions logistiques particulièrement difficiles dans de nombreuses régions désertiques. L'utilisation des techniques de télédétection spatiale peut maintenant permettre d'améliorer ce dispositif de surveillance et d'alerte précoce.

1.2.4.3 : Utilisation de la télédétection dans la surveillance des biotopes

Afin d'optimiser le travail des équipes de prospection et de détecter plus rapidement et plus précisément l'apparition de conditions favorables, la télédétection est un outil quasi-incontournable d'identification des zones à risque.

. Plus tard, plusieurs projets FAO ont été mis en œuvre au niveau de l'aire de rémission du Criquet pèlerin dont l'Algérie où 2 projets ont été réalisés, l'un en 1977 et l'autre en 1979, dans les régions du Tassili N'Ajjer et du Hoggar utilisant à la fois les images satellites, des ressources terrestres et météorologiques.

L'Office national de la météorologie (ONM) ayant été le principal bénéficiaire de ces projets, fournit régulièrement à l'Institut national de la protection des végétaux (INPV) les informations relatives à l'évolution des paramètres climatiques afin d'établir des programmes de prospection plus opérationnels.

Par ailleurs, l'INPV a conjointement utilisé en 1979 avec la Commission de lutte contre le Criquet pèlerin en Afrique du nord-ouest (CLCPANO), les images satellites en lutte antiacridienne, mais essentiellement météorologiques de type météosat et NOAA pour l'évaluation et l'estimation qualitative et quantitative des précipitations au niveau de l'aire de rémission du Criquet pèlerin en Afrique du nord ouest. Depuis 2002, l'INPV utilise pour les besoins de la lutte antiacridienne des images satellitaires pour la mise en évidence des traces de verdure dans les steppes et dans les dépressions des oueds (données de type Spot-Végétation).

Le système de surveillance a été renforcé à partir de mars 2003, par de nouvelles images plus précises du satellite Alsat1, fournies également gratuitement par l'Agence spatiale algérienne (ASAL) en fonction de la demande de l'INPV. La résolution de ces images est de 32 m.

Les images satellitaires ont permis à l'INPV de déployer ses équipes au niveau des zones vertes repérées par satellite et pouvant éventuellement abriter des populations acridiennes.

Au regard des périodes d'activité acridienne en Algérie (printanière et estivale) une attention particulière est donnée aux régions sahariennes. Ainsi, en période printanière, c'est tout le Sahara central qui est « passé à la loupe » afin de repérer les principaux oueds abritant des zones de verdure, alors qu'en période estivale, c'est l'extrême sud algérien qui est essentiellement la cible des investigations.

Chapitre 2: Matériels et méthodes

2.1: Matériel

2.1.1. Les données

2.1.1.1: Données acridiennes historiques

Les données utilisées regroupent les observations acridiennes et écologiques collectées principalement au cours des prospections/missions de terrain couvrant la période de 1965 à 2008, complétées par les données d'organismes de recherche nationaux et internationaux et par les données personnelles d'acridologues ayant travaillé dans le sud de l'Algérie durant la même période. Les différentes sources extérieures sont :

- le Service de l'information acridienne (DLIS) de la FAO (Rome) ;
- l'Institut des ressources naturelles (NRI), Londres (1965-1968);
- les rapports de prospections ou de missions dans le sud algérien du Prof. Pasquier (1965- 1975), de Sitouh (1967-1972), et de M.A. et M.T. Volkonsky (1939-1942).

Un total de plus de 39.000 informations liées à l'activité acridienne a été utilisé dans la réalisation de cette étude.

Les données contiennent les informations liées au criquet pèlerin, aux conditions éco-météorologiques et au milieu.

2.1.1.2: Données météorologiques

2.1.1.2.1: Données météorologiques du réseau historiques

Les données météorologiques (pluviométrie et températures) historiques des wilayas du grand sud algérien pour la période de 1965 à 2013 ont été récupérées auprès du Centre régional de veille acrido-météorologique de Tamanrasset.

2.1.1.2.2: Données météorologiques estimées par télédétection spatiale

Les données relatives aux pluies et températures du sol estimées par télédétection spatiale ont été téléchargées de site <http://iridl.ldeo.columbia.edu> de l'Institut de recherche International sur le climat (IRI) de l'université de Columbia, USA.

Cet institut a développé des produits pour estimer les conditions écologiques et les précipitations dans les zones de récession du Criquet pèlerin à partir des images satellitaires Modis.

2.1.1.3: Fonds cartographiques

Les cartes géographiques utilisées dans cette étude sont des cartes de l'Institut géographique national de Paris (cartes IGN) souvent encore connues sous le nom de cartes d'Etat major de petites échelles (1:1.000.000 et 1:500.000). Ces cartes se distinguent par la richesse et la diversité de leurs informations géographiques, ainsi que par la présence de courbes de niveau. Pour couvrir l'ensemble des zones de reproduction du Criquet pèlerin dans le sud algérien, nous avons utilisé les cartes de Tamanrasset, Illizi, Djanet, Adrar, In Salah, Tindouf, Béchar, El Goléa, Kidal (régions limitrophes avec le Mali et le Niger).

Aussi, nous avons utilisé des cartes hydrogéologiques du Hoggar et du Tassili, à une échelle de 1/1.000.000, réalisées par l'Institut national de la cartographie d'Alger. Ces cartes mettent en évidence tout le paysage désertique, surtout la structure du relief, la nature de la roche, les lits des principaux oueds, les limites du bassin versant et les zones d'accumulation et d'épandage des eaux de pluies.

2.1.1.4: Données satellitaires

2.1.1.4.1: Image LandSat ETM+

Le programme Earth Resources Technological Satellite (ERTS) utilisant les satellites ERTS-1 dont le nom a été transformé en LANDSAT (Land Satellite) est dû à la NASA. LANDSAT 1 (fig. 15), lancé le 22 Juillet 1972, a fonctionné jusqu'au 6 janvier 1978. LANDSAT 2, lancé le 5 novembre 1975, a fonctionné jusqu'au 27 Juillet 1983, puis des anomalies ont affecté ses capteurs. LANDSAT 3, lancé le 5 mars 1978, n'a plus fourni de données après le 7 septembre 1983 à la suite d'une panne dans le dispositif de balayage. LANDSAT 4, lancé le 16 Juillet 1982, n'émet plus de données TM depuis Février 1983. Lancé le 1er mars 1984, LANDSAT 5 fonctionne sans problème. LANDSAT 6, lancé le 5 Octobre 1993, s'est écrasé en mer lors du lancement. LANDSAT 7 a été lancé avec succès le 15 avril 1999 et fournit des données (Girard et Girard 1999).

De 1986 jusqu'à récemment les produits étaient commercialisés par la société EOSAT. La diffusion des produits Landsat 7 doit être assurée par l'US Geological Survey (USGS).

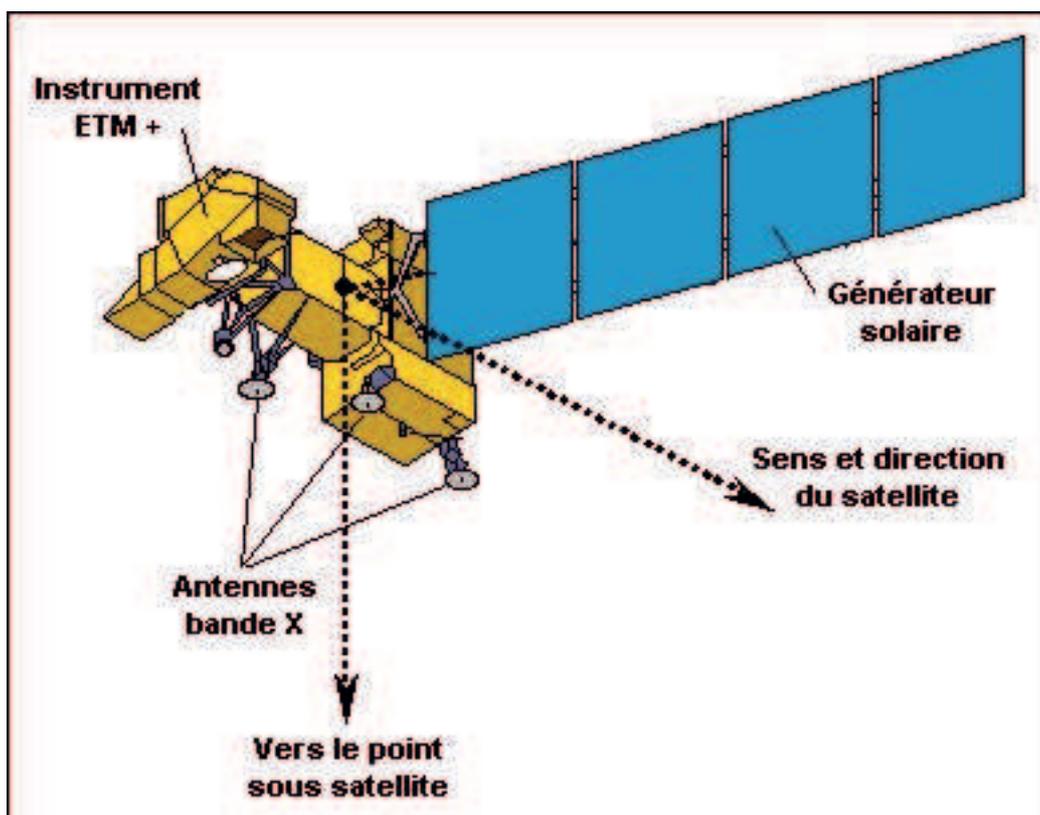


Figure 15 :Aspect extérieur de LANDSAT 7 (d'après NASA).

Ce satellite est constitué d'une plateforme multi-missions équipée d'un système de stabilisation 3 axes et d'un module de propulsion. Il dispose d'un seul panneau solaire disposé latéralement et d'une puissance de l'ordre de 1500 W. Landsat 7, d'une masse de 2200 kg a pour dimensions : 4,3 m de longueur et 2,8 m de hauteur et largeur. Le panneau solaire a une surface de 16 m².

Tous les satellites de la série LANDSAT sont héliosynchrones, en orbite sub-polaire, dont l'altitude standard a varié de 917 (1 à 3) à 705 km (4 à 7) mais on distingue plusieurs générations (tableau 2) :

Tableau 2: Différentes générations de la série LANDSAT.

	Capteurs	Type	Altitude standard	Répétitivité
Landsat 1 à 3	RBV et MSS	héliosynchrones orbite sub-polaire	917 km	16 jours
Landsat 4 à 5	MSS et TM		705 km	16 jours
Landsat 6 à 7	TM et ETM+		705 km	16 jours

Caractéristiques des différents capteurs (tableau 3) :

- Caméra numérique Return Beam Vidicon (RBV)
- Capteur Multispectral : Multi Spectral Scanneur (MSS)
- Capteur Thematic Mapper (TM)
- Capteur Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

Une soixantaine d'images Landsat ETM+ ont été téléchargées à partir du site de Global Land Cover Facility (GLCF) (<http://glovis.usgs.gov>). Ces images couvrent l'ensemble de la zone d'étude et ne comporte aucun nuage. Aucune conversion de format ou de projection n'a été effectuée.

Tableau 3: Caractéristiques de l'image satellitaire ETM+.

	RBV	MSS	TM	ETM+
canaux	0,479-0,575 μm 0,580 - 0,680 μm 0,690 - 0,830 μm	4 : 0,5 - 0,6 μm 5 : 0,6 - 0,7 μm 6 : 0,7 - 0,8 μm 7 : 0,8 - 1,1 μm	1 : 0,45 - 0,515 μm 2: 0,525 - 0,605 μm 3 : 0,63 - 0,690 μm 4 : 0,73 - 0,90 μm 5 : 1,55 - 1,75 μm 6 : 10,40 - 12,5 μm 7 : 2,09 - 2,35 μm	1 : 0,45 - 0,515 μm 2:0,525 - 0,605 μm 3 : 0,63 - 0,690 μm 4 : 0,73 - 0,90 μm 5 : 1,55 - 1,75 μm 6 : 10,40 - 12,5 μm 7 : 2,09 - 2,35 μm P : 0,52 - 0,90 μm
angle ouverture		11°56	14°8	14°8
pixel		79m x 56m	1 à 7 : 30m 6 : 120m	1 à 7 : 30m 6 : 60m P : 15m
taille scène		170 x 185,2 km	170 x 185,2 km	170 x 185,2 km

2.1.1.4.2 : Images TERRA MODIS

Pour suivre le développement de la végétation, l'évolution de la température du sol, estimation des pluies et la cartographie des zones favorables au survie et à la reproduction du Criquet pèlerin dans les zones potentielles, nous avons eu recours aux séries temporelles des images Terra Modis de 250 mètres de résolution spatiale construites à partir des bandes rouge, proche-infrarouge et moyen infrarouge et ainsi que les produits NDVI de même capteur. Les

images ont été téléchargées gratuitement de site IRI Climat et criquet pèlerin de l'université de Columbia USA (fig.16).

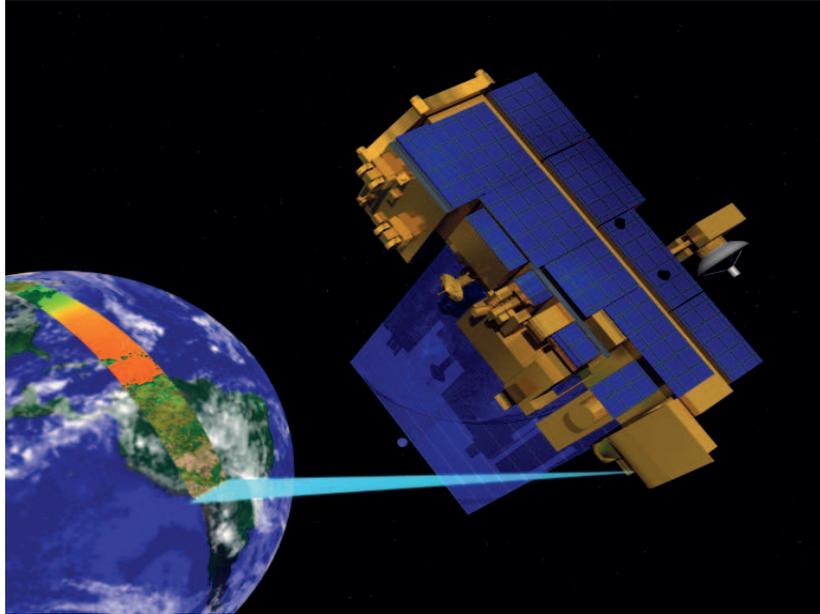


Figure16 : MODIS (or Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) is a key instrument aboard the Terra (EOS AM)and Aqua (EOS PM) satellites.

<http://modis.gsfc.nasa.gov/> et <http://terra.nasa.gov/>

2.1.1.5: Données sur l'humidité du sol

Pour le calcul de l'humidité de sol au niveau de oued Amded et oued Tikouiat situés au sud-ouest du Hoggar, nous avons utilisé un humidimètre portable de réflectométrie dans le domaine temporel (TDR, time domain reflectometry). Il est composé de (fig.17) :

- Boitier de lecture : TRIME-HD
- Sonde : TRIME-EZ dont les caractéristiques techniques :
- Alimentation électrique : 97 V.24 V – DC (200 mA pendant 2-3 s. de mesure)
- Répétabilité (précision en % d'humidité volumique) : $\pm 0,3 \%$.
- Interface : Câble de 1,5 m muni d'un connecteur étanche 7 broches femelles

- Etalonnage: Plusieurs étalonnages pour sables et graviers pré-enregistrés, étalonnages spécifiques personnalisable pour d'autres matériaux, jusqu'à 15 courbes d'étalonnage prédéfinies ou personnalisées mémorisables.
- Longueur des pointes : standard : 160 mm.



Figure 17 :Instrument de mesure de l'humidité de sol.

2.1.1.6: Données sur le régime alimentaire du criquet pèlerin

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation d'un matériel varié sur le terrain : capture (filet fauchoir), prélèvement botanique (papier journal) et conservation des criquets (bocal).

2.1.2: Les logiciels

2.1.2.1: Système d'information géographique RAMSES de la FAO

Le système d'information géographique utilisé pour réaliser la cartographie est le système RAMSES (Reconnaissance And Management System of the Environment of Schistocerca): Système de reconnaissance et de gestion des informations sur l'environnement du Criquet pèlerin est un système d'information géographique (SIG) pour gérer les informations sur le Criquet pèlerin et son environnement. Bien que ce système ait été spécifiquement développé pour gérer les informations sur le Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*), d'autres espèces de locustes et de sauteriaux peuvent être incluses.

Les données sont stockées dans une base de données Microsoft Access et ce document s'intéresse aux fonctions des bases de données. L'affichage et l'analyse des données sont gérés par le logiciel Arcview. Le système RAMSES assure les fonctions suivantes :

- Saisir, consulter et modifier des données
- Analyser et gérer les informations du système
- Sortir/Exporter des données du système dans d'autres formats
- Gérer les métadonnées.

2.1.2.2: Logiciels de traitement d'images

Pour le géoréférencement des cartes, traitement et l'analyse des images satellitaires, nous avons utilisé le logiciel ENVI4.6.1 (The Environment for Visualizing Image). Ce logiciel a été utilisé grâce au financement de la FAO d'une licence d'utilisation de 2 années.

2.1.2.3: Logiciels d'analyses statistiques

2.1.2.3.1: Logiciel R

R est un logiciel libre basé sur le logiciel commercial S (Bell Laboratories), avec qui il est dans une large mesure compatible (<http://www.r-project.org>). R est un environnement dédié aux statistiques et à l'analyse de données. Le terme environnement signifie que l'ensemble des programmes disponibles forme un tout cohérent, modulable et extensible au lieu d'être une simple association de programmes accomplissant chacun une tâche spécifique. R est ainsi à la fois un logiciel et un langage de programmation, permettant de combiner les outils fournis dans des analyses poussées, voire de les utiliser pour en construire de nouveaux. Un autre avantage est qu'il est très facile de se constituer sa propre boîte à outils que l'on utilisera sur plusieurs jeux de données. R est disponible pour beaucoup de plates-formes, dont Unix/Linux, Mac-OS et Windows(95 et +).

2.1.2.3.2: Logiciel SYSTAT

Le logiciel statistique SYSTAT7a été utilisé pour les analyses statistiques ANOVA afin de déterminer les périodes de présence et de reproduction des solitaires, transiens et les grégaires.

2.2: Méthodes

2.2.1: Organisation des données de terrain

2.2.1.1: Collecte des données

Les données ont été collectées à partir des manuscrits ou rapports de mission de prospection, des messages radios des équipes de lutte antiacridienne et des bulletins de renseignement périodiques publiés par les services antiacridiens de l'Algérie.

2.2.1.2: Saisie et structuration des données acridiennes

Les données collectées à partir des rapports ont été saisies et stockées au niveau de la base de données sous RAMSES. Les principales de cette base de données contiennent les informations suivantes:

- Date et position (coordonnées géographiques, lieux dits, date/heure);
- Données acridiennes (présence/absence, stade biologique, phase....);
- Données écologiques (espèces végétales, développement, abondance dominance, habitat, humidité de sol, texture et structure de sol...);
- Données météorologiques ;
- Données de traitement.

La base de données est composée de 39.000 enregistrements renfermant les informations acridiennes géoréférencées pour la période allant de janvier 1965 à juin 2008. Chaque enregistrement est identifié par ses coordonnées géographiques X et Y à l'intérieur du site prospecté.

2.2.1.3: Fiabilité des données historiques acridiennes utilisées

La fiabilité des données historiques utilisées est liée au premier lieu à la stratégie utilisée dans la collecte de l'information sur les plans spatio-temporel et à la qualité des cadres chargés de faire les prospections.

Sur le plan spatial et temporel, le Sud algérien a été régulièrement prospectés par les équipes terrestres de surveillance et de lutte, toutefois, plusieurs zones sont restées inaccessibles pour ces équipes en raison des difficultés liées à la topographie de la nature saharienne et aux problèmes sécuritaires. En plus, durant les périodes de fortes accalmies acridiennes, les

prospections étaient limitées dans le temps et dans l'espace. Ces difficultés et stratégies ont conduit notamment à :

- l'irrégularité des prospections dans certaines zones sahariennes ;
- l'inaccessibilité de plusieurs zones aux équipes terrestres de prospection notamment à partir des années 1990;

Sur le plan qualitatif, Popov, 1997 a souligné dans son étude « Atlas les aires de reproduction du criquet pèlerin » que la qualité, la quantité et la fiabilité des données sont autant de facteurs soumis à une très importante variation spatio-temporelle.

Ainsi que la qualité et la fiabilité d'une partie des informations contenues dans la base de données utilisées pour cartographier les zones de reproduction des solitaires et des transiens au niveau du Sud algérien sont liées aux facteurs suivants :

- localisation approximatives avant les années 1990 à cause de l'absence des outils de positionnement précis (GPS). En effet, plusieurs informations antérieures à cette date ont été géo-localisées à partir des lieux dits.
- le problème d'observation notamment, en période de rémission, des individus isolés disséminés dans la végétation.

Vu le problème de la qualité des données liées aux erreurs d'appréciation éventuelles sur la biologie et le comportement du criquet (stade biologique, état phasaire) collectées sur le terrain par les agents peu ou pas formés, l'identification des solitaires, des transiens et des grégaires a été faite en fonction des situations acridiennes qu'a connu l'Algérie et les pays limitrophes pour les différentes périodes :

- périodes de rémission dominées par les solitaires ;
- périodes de recrudescence dominées par les transiens ;
- périodes d'invasion dominées par les grégaires.

En plus, généralement les années d'invasions sont précédées et suivies par une forte présence des transiens. Les années d'accalmies où les criquets ont été observés dispersés sont caractérisées par la présence des solitaires.

2.2.2: Classification et cartographie des zones de reproduction

2.2.2.1: Classification des zones de reproduction

La classification des zones de reproduction des solitaires dans le Sud algérien a été réalisée sur la base de la fréquence annuelle des femelles en reproduction en phases de remissions à l'échelle de quart de degré carré.

Les quarts de degrés carrés qui ont abrité une seule reproduction sur les 18 années de rémission possibles ont été écartés.

Ainsi, les fréquences annuelles des reproductions par quart de degré carré ont été réparties en deux classes :

- Classe 1 : la fréquence annuelle supérieure à 1 et inférieure à 5 années;
- Classe 2 : la fréquence annuelle égale à 5 et inférieure à 9 années

2.2.2.2 : Cartographie des zones de reproduction

Toutes les cartes produites ont été réalisées à l'aide du Système d'information géographique RAMSES sur la base des informations acridiennes injectées dans la base de données de ce système.

Les cartes représentant la spatialisation des différentes phases du Criquets pèlerin en Algérie et les cartes de classification ont été produites par l'affichage des coordonnées géographiques des lieux infestés sur des cartes à l'échelle 1 : 20.000.000. La caractérisation des biotopes de reproduction des solitaires a été réalisée sur des cartes aux échelles de 1 : 1.000.000 à 1 : 3.000.000 en fonction de l'importance des biotopes.

La délimitation spatiale des zones de reproduction observées des solitaires et des transiens a été réalisée par quart de degré carré sur la base des fréquences annuelles des signalisations des femelles en positions de ponte.

La fréquence peut se définir comme étant le nombre de chances que l'on a de trouver au moins un individu d'une espèce donnée en effectuant une prospection au hasard dans une région donnée pendant sa période d'apparition, et, naturellement, en employant des méthodes appropriées à sa découverte (Voisin, 1995)

Afin de réaliser une cartographie des biotopes de reproduction potentiels des solitaires et des transiens qui reflète la réalité de terrain, nous avons eu recours à des informations supplémentaires composées de signalisations de larves peu mobiles et de traitements réalisés contre les concentrations acridiennes pour la même période.

- La caractérisation et l'identification des biotopes de reproduction potentiels des solitaires dans le Sud algérien ont été réalisées par la superposition de trois couches suivantes : les zones cartographiées sur la base de la réponse spectrale des lieux de ponte à partir des images LANDSAT ETM+ de différentes années (2000-2005) ;
- les oueds et zones d'accumulation des pluies cartographiées à partir des cartes d'Etat Major et hydrogéologiques;
- les zones de végétation cartographiées à partir des images Modis et leurs indices de végétation.

Pour l'identification des lieux de prédilection de ponte nous avons appliqué la télédétection multi-spectrale à haute résolution afin d'identifier à partir des images satellitaires des informations structurales des lieux de ponte des solitaires.

Cependant, vu que les zones désertiques sont caractérisées par des sols généralement très réfléchissants, car ils sont principalement composés de sables siliceux et de fragments calcaires ou gypseux, et ils sont de plus très souvent secs en surface. Seuls les sols plus argileux et plus souvent humides de dépressions temporairement en eau sont nettement moins réfléchissants. La végétation de ces milieux arides à une activité photosynthétique chlorophyllienne réduite dans le temps : certaines années sèches, il n'y a pratiquement pas d'herbacées annuelles (taux de couverture proche de zéro), et les pérennes ligneuses sont pendant de longs mois dans un état desséché. Les spectres de la végétation sont donc rarement caractéristiques: ils se présentent plutôt sous la forme d'une courbe de pente positive assez régulière et faible, l'inflexion entre le rouge et le proche infrarouge se marquant à peine. Les transects ont des spectres intermédiaires allant du sol nu et tendant sans atteindre la végétation seule (Delaître et Escadafal, 1994).

Pour ces raisons et afin de surmonter les difficultés liées à la nature des zones désertiques, la cartographie des lieux de pontes a exigé des traitements numériques pour optimiser les images satellitaires. La caractérisation des lieux de pontes au niveau des six régions identifiées sur la base des caractéristiques du sol et de la végétation a été réalisée en quatre étapes :

- composition colorée pour les images Landsat ETM et Modis ;
- analyse en composante principale à partir des images Landsat ETM ;
- les classes d'équidensité de la composante principale des images Landsat ETM et Modis ;
- vérification des résultats sur carte d'état major.

2.2.3: Etude du régime alimentaire

2.2.4.1: Méthode d'analyse des contenus digestifs

L'analyse des contenus digestifs est très employée pour la détermination du régime alimentaire de plusieurs espèces animales, notamment, chez les oiseaux (Bigot in Dajoz, 1972, Aouissi, 1991), chez les mammifères Butet, 1976, chez les acridiens (Benhalima *et al*, 1984, 1985, Chara, 1984, 1987, Benfekih, 1993, Chaouch, 1994, Doumandji-Mitiche *et al* 1996a et Kara, 1997).

Cette méthode est basée sur la reconnaissance des fragments d'épidermes des plantes consommées contenues dans le jabot ou les égesta, à l'aide d'un microscope photonique en les comparant aux épidermes de référence préparées à partir des végétaux frais prélevés dans la nature en se basant sur de nombreux caractères (forme des stomates, parois des cellules, phytolithes, poils, épines, crochets...).

2.2.4.2: Préparation des épidermes de référence

La préparation des épidermes de référence est réalisée à partir des espèces végétales récoltées des stations retenues dans la région du Hoggar.

Les épidermes sont détachés des tissus sous jacents de la plante à l'aide de pince fine ou par grattage. Ils sont mis à macérer dans une l'eau de Javel pour décoloration durant une minute, rincés dans l'eau distillée puis déshydratés dans différentes concentrations de bain d'alcool, 75°, 90° et 100°. La préparation s'effectue entre lame et lamelle en ajoutant du liquide de Faure. Les différents épidermes observés sous microscope, sont photographiés, afin de constituer une épidermothèque de référence.

2.2.4.3: Préparation des fèces

Les criquets capturés dans la nature ont été placés individuellement dans des boîtes en plastique et sont laissés environ 24 heures sans alimentation. Les fèces émises pendant ce temps proviennent de la végétation ingérée dans la nature.

Les fèces récupérées sont stockées séparément avant de passer aux différentes manipulations:

- la réhydratation des fèces pendant 24 heures dans de l'eau ;
- le trempage dans de l'eau javellisée pendant cinq à dix minutes pour éclaircir les épidermes ;
- le trempage des épidermes dans de l'eau distillée pour rinçage ;
- la déshydratation progressive dans des bains d'alcools de 50°-75°-100° ;
- le montage entre lame et lamelle des fragments en utilisant du liquide de Faure pour la conservation des préparations ;
- la détermination des espèces consommées par les criquets à l'aide du microscope photonique par la comparaison des épidermes contenus dans les fèces à ceux de référence ;
- le calcul de la fréquence relative des espèces consommées.

2.2.4 : Mesure de l'humidité du sol

L'humidité du sol (ou eau contenue dans le sol) détermine de façon essentielle la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols. Le taux d'humidité d'un sol en particulier va déterminer les caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans ce sol. Ces caractéristiques concernent aussi bien les intrants solides que liquides qui vont pénétrer dans le sol.

Il existe différentes techniques de mesure de l'humidité d'un sol (ou autres substrats équivalents):

- **Méthode gravimétrique** : Elle consiste à sécher (passer dans un four à 105 °C) un échantillon de sol et connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon. Méthode de référence, mais longue, coûteuse et destructive.

- **Méthode par sonde à neutrons** : Elle reste particulièrement efficace mais chère et désormais beaucoup trop réglementée (caractère radioactif du principe de l'appareil) pour être utilisée simplement par un opérateur.

- **Méthode par mesure de la conductivité électrique** : Elle est très économique mais malheureusement très peu précise, et reste fortement influencée par la nature du sol et la salinité des sols.

- **Méthode capacimétrique** : C'est une méthode électromagnétique (mesure de la permittivité diélectrique) économique, mais au volume d'influence limité (1 à 2 cm autour des pointes du capteur) et influencée par le type de sol, la température et la salinité. Cette méthode est bien adaptée aux petits volumes de sol et avec un bon rapport prix/performance.

- **Méthode TDR** (réflectométrie temporelle): Elle est née dans les années 1980 et se place comme une méthode incontournable tant par la qualité que par la convivialité de ses mesures. Le principe de cette mesure est basé sur la détermination du temps de propagation d'un pulse électromagnétique le long d'une électrode introduite dans le sol. Le temps de propagation de ce pulse dépend étroitement de l'humidité du sol (mesure de permittivité diélectrique). Son volume d'influence est supérieur à celui des techniques capacitatives. La mesure est par ailleurs faiblement influencée par la température, la salinité et le type de sol.

Cette méthode TDR est celle que nous avons finalement retenue pour notre étude.

Les relevés de l'humidité de sol ont été réalisés au niveau des oueds d'Amded et de Tikouiat. Dans chaque oued, six stations ont été identifiées en fonction de l'altitude. Les relevés ont débutés dès les premières pluies estivales en juillet 2010 à raison de trois relevés par mois (décadaire) et ont pris fin en juin 2011.

2.2.5: Les analyses statistiques

Pour nos études, au vu du volume important des données manipulées, nous avons eu recours à plusieurs analyses statistiques pour obtenir et discuter les informations suivantes:

- Sous le logiciel R :

Nous avons réalisé des cartes de probabilités de spatialisation mensuelles de la présence des solitaires et les transiens aux quarts de degrés carrés. Les valeurs des probabilités de présence ont été calculées selon la formule suivante :

$$P = (N_s + N_t) / (N_s + N_t + N_v)$$

P : probabilité de présence

N_s : nombre d'observations des solitaires

N_t : nombre d'observations des transiens

N_v : nombre de visites sans criquets observés.

Les valeurs de la probabilité de présence P varient de 0 à 1. Ces valeurs de P ont été affichées sur les cartes sous forme de couleurs dégradées comprises entre le bleu (faible présence) et le rose (forte présence).

Nous avons également analysé la présence des solitaires et des transiens au niveau de trois stations d'études en fonction de la variation de conditions écologiques (pluie et végétations).

- Sous le logiciel SPSS :

Nous avons réalisé les analyses ANOVA relatives:

- aux périodes de dominance des solitaires, transiens et grégaires,
- aux périodes de reproduction des solitaires et les transiens ,

2.2.6: Les zones d'étude

2.2.6.1: Grandes zones d'habitat du criquet pèlerin en Algérie durant les rémissions

Les différentes études ont été réalisées à l'intérieur de l'aire d'habitat du criquet pèlerin situées au sud du 31^{ème} Nord jusqu'aux frontières sud. Cette grande zone regroupe les régions suivantes (fig. 18):

2.2.6.1.1: La région du Hoggar

Le Hoggar comprend le gros bloc montagneux qui se détache nettement au centre des cartes du Sahara algérien, mais aussi ses abords ; il est limité au nord par le Tidikalt (In-Salah), à l'est par le Tassili des Adjers (Djanet), à l'ouest par le Touat (Adrar), au sud par le Niger et est au sud-ouest par le Mali. Il s'étend, entre le 12^{ème} et le 25^{ème} parallèle de l'hémisphère nord, donc à cheval sur le tropique du cancer et les 3^{ème} et 6^{ème} degrés Est du méridien de Greenwich.

Sa superficie totale est de 507 000 kilomètres carrés. Le climat saharien est tel qu'il entraîne des différences multiples dans le modèle du terrain, l'érosion, la décomposition et la

désagrégation des roches, ce qui donne au Hoggar un paysage original en Afrique (Hamdine, 2001).

Ses principes caractéristiques sont une très faible pluviométrie moyenne (moins de 100 mm par an), une grande irrégularité dans les pluies, l'action permanente et néfaste des vents, de grandes différences de température entre l'hiver et l'été et beaucoup plus encore entre le jour et la nuit. Dans le massif du Hoggar, le climat est soumis à des modifications dues aux barrières montagneuses. Ce sont parfois des adoucissements, plus souvent des aggravations de la rigueur du climat saharien : vents accentués, pluies irrégulières, assez grande nébulosité, écarts de température, etc. Le régime des vents dans le Hoggar est d'une très grande complexité ; il est difficile de tirer des conclusions dans ce domaine encore mal étudié. Le fait primordial qui ressort et qu'on doit retenir est que dans le Hoggar, qui est à la limite de deux zones climatiques précises, le climat oscille entre les deux. Cette instabilité des vents est aggravée par les régions montagneuses qui jouent tantôt un rôle de barrière, tantôt un rôle d'arrêt, et le plus souvent une action spécifique qui modifie sensiblement un climat déjà fort complexe. Les vents dominants sont parfois sahariens, comme l'harmattan qui souffle à Tamanrasset, du nord-est, de juin à septembre, par moments des vents d'origine tropicale (la mousson qui souffle du sud-ouest, de mai à septembre), ou encore des vents généraux, l'alizé et le contre-alizé en haute altitude, avec quelquefois des courants descendants.

Le régime des pluies est mieux connu que celui des vents, du moins dans la région de Tamanrasset. Comme tous les régimes sahariens, il se singularise par une extrême irrégularité, tant dans les saisons que dans la répartition au cours des années.

La température dans l'ensemble du massif est du type nettement saharien, en ce sens que les chaleurs sont fortes, et qu'il y a de très importants écarts entre les saisons d'une part, entre le jour et la nuit d'autre part. Mais il est à remarquer que les montagnes jouent un rôle majeur dans les changements de température. Les moyennes et les extrêmes baissent de 10 centigrades par mille mètres d'altitude. De plus, dans l'espace géographique qui nous intéresse, existe un très grand écart entre les températures diurnes et nocturnes, qui peut atteindre, fait extraordinaire, jusqu'à 30 degrés. Cet écart est, du reste, plus fort en été qu'en hiver. Il se produit au lever et au coucher du soleil et peut atteindre facilement 10 degrés en un quart d'heure.

Sans se laisser entraîner dans le domaine aux termes savants et ésotériques des géologues, il serait utile, pour la clarté de notre modeste étude, de donner un aperçu succinct de la structure

géologique de l'ensemble saharien. Tout le Sahara est resté en dehors des grands plissements et bouleversements géologiques. Le socle précambrien ou plutôt la roche cristalline n'a pas été atteinte par l'action des grands plissements ; il a subi un bombement à large rayon qui en a fait un bouclier. Un sommet de ce bombement se trouve précisément dans le Hoggar, ce qui explique les affleurements nettement apparents de la roche ancienne - d'autres affleurements se situent dans le massif des Eglabs et dans le Tibesti. La roche cristalline de base a été ensevelie sous des couches sédimentaires, mais l'érosion, surtout éolienne, a découpé les parties hautes ; le substratum précambrien apparaît en boutonnière.

Mais le volcanisme a aussi agi en soulevant des massifs cristallins traversant indifféremment toutes les séries, arrivant dans le Tazenrout, l'Azoua, jusqu'au Niger et, de là, au golfe de Guinée. L'existence de ces oueds permet de supposer qu'il a eu une ou plusieurs phases plus humides au Sahara. Ces oueds fossiles ont marqué le pays par un ravinement accentué et la création d'un réseau hydrographique d'aspect classique en montagne et dans les parties au relief assez accusé par des lits immenses et incertains ; dans les zones moyennes, par de gigantesques bassins d'épandage parfaitement plats et sans aucun relief ; dans les dépressions, comme partout ailleurs, l'aspect géographique de cette région est essentiellement déterminé par la structure géologique et aussi et surtout par des phénomènes climatologiques.

De ces hauteurs descendent les oueds au profil irrégulier et spécifiquement saharien, dont l'amont est le type du torrent alpin alors que l'aval tortueux et changeant se perd dans les dépressions qui ont été peu à peu comblées par des dépôts alluvionnaires et ont formé de grandes zones d'épandage.

Le Hoggar possède un réseau hydrologique bien marqué. Les pluies qui tombent sur le centre du massif au niveau de l'Askrem: Asekrem est un plateau volcanique de 1800 m de long et de 1100 m de large qui est situé au centre du Hoggar (Dubief, 1963), peuvent faire couler les oueds jusque dans la plaine. L'oued Tamanrasset et l'Oued Amded sont les principaux collecteurs de ce versant du massif (Volkonsky, 1941).

L'adras Ahnet est une dépendance du Hoggar, située à l'ouest du massif, dont les flancs ouest et sud-ouest donnent sur le Tanezrouft-n-Ahnet, marqué par les petits massifs et les puits d'I-n-Ziza et de Nahalet. Géographiquement, c'est un « tassili » (mot berbère qui désigne des plateaux gréseux au Sahara), qui n'est que le prolongement vers le sud-ouest de celui des Ajjers, lequel s'étend en arc de cercle au Nord-Nord-Est du Hoggar.

Il est formé de la même façon de deux assises gréseuses inclinées vers l'extérieur, grès inférieur ordovicien et grès supérieur siluro-dévonien, séparées par un filon intra-tassilien comprenant des schistes à graptolite, d'âge gothlandien. Les grands accidents sub-méridiens ayant provoqué, à la période hercynienne, des plis et des failles, il s'ensuit que le tassili inférieur n'est plus visible, dans l'Ahnet, qu'en de rares places. Les principaux reliefs sont l'adras Ahnet, montagne formée de quartzite et non de grès, l'Adafar, le Taraït, l'I-n-Semmen, l'Asegrad, le Tarit. Le point culminant ne dépasse pas 650 mètres et l'altitude moyenne est de 350 mètres. Cette faible hauteur, alliée au voisinage immédiat du Tanezrouft, a une influence défavorable sur le massif en lui apportant, l'été, des vents très chauds ; cette région est nettement déshéritée en humidité comparativement à l'Ahaggar, le Tassili-n-Ajjer et même le Mouydir . Les principaux collecteurs sont la rivière Amga, alimenté par l'adras Ahnet, le Tarit et l'Adafar, et l'Asouf Mellen, qui draine les écoulements du versant oriental de l'adras Ahnet. Les points d'eau sont peu nombreux.

L'Assedjrad et l'Ahnet constituent une région montagneuse de faible altitude, mais accidentée et pourvue d'un réseau d'Oueds serré. Ceux du versant nord ont leurs cours généralement entravé par les petits ergs qui jalonnent ici le pied des massifs (Volkonsky, 1941).

2.2.6.1.2: La région de la Saoura (Béchar et Tindouf)

L'Oued Saoura est formé par la réunion de l'Oued Zouzfana et de Oued Guir, issus du Grand Atlas et de l'Atlas saharien. La Zouzfana et la Saoura longent la bordure du grand Erg occidental, leur rive droite étant formée d'abord par la Hammada du Guir et, plus bas, par les premiers plissements du petit massif cristallin d'Ougarta qui lui-même donne naissance à une série d'Oueds et abrite un groupe de petits Ergs (Erg Djmel, Erg Belf El Foul). Plus loin vers le Sud s'étendent l'Erg Rahoui et l'Erg Chech. Alimenté par les pluies qui tombent sur les chaînes montagneuses au Nord du Sahara, le système Guir-Zouzfana-Saoura subit des crues hivernales notablement plus fréquentes que les Oueds du Sahara central (Volkonsky, 1942).

2.2.6.1.3: La région de l'extrême sud

L'Adras des Iforas est un massif cristallin de très faible altitude situé au niveau du Mali près des frontières algérienne : il serait plus exact de le définir comme un système de petits crêtes rocheuses séparées par de larges vallées. Les Oueds qui en débouchent vers le Sud et l'Ouest aboutissent à la vallée du Tilemsi, qui est une plaine alluvionnaire large de 10 à 20 km en

moyenne ; ceux de la région Est, à la vallée de Zgarat ; ceux de la région Nord, pour la plupart, au cours inférieur de l'Oued de Tamanrasset. Le sol des vallées est plus souvent argileux. Des sols arénacés et des systèmes de dunes vives apparaissent principalement à la lisière Nord et Sud du massif (Volkonsky, 1942).

L'Adrar des Iforas reçoit des précipitations estivales régulières dans la plus grande partie du massif, irrégulières dans sa partie Nord et Est. La végétation de cette région est de type saharo-méridional dans sa partie Nord-Est dominée par de vastes peuplements de *Schouwia* qui se développe en automne et peuvent persister pendant l'hiver. La végétation des contreforts Nord de l'Adrar (Adrar In Ouzzal, Tirek, Tassili de Tim Missao), plus pauvre, se rapproche de celle du Hoggar et de la bordure Sud de l'ahnet.

2.2.6.1.4: La région d'Adrar

Elle couvre une superficie globale de 427,968 km² soit presque 17,97 % du territoire national. Elle est limitée au Sud par le Mali, au Sud-Ouest par la Mauritanie, au Sud-Est par la wilaya de Tamanrasset, au Nord par la wilaya d'El-bayadh, au Nord-Ouest par la wilaya de Béchar, au Nord-Est par la wilaya de Ghardaïa, à l'Ouest par la wilaya de Tindouf (I.N.R.A., 2006).

Dans la région d'Adrar, à l'instar des régions désertiques la pluviométrie est extrêmement faible et très irrégulière. La fréquence des vents est très grande durant toute l'année notamment le sirocco dont la vitesse peut atteindre les 100 Km/heure. Généralement, c'est durant la période de printemps (Mars-Avril) que manifestent le plus souvent les vents de sable (INRA, 2006).

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. Elle est formée de palmiers, quelques végétaux fixateurs de dunes et quelques plantes halophytes qui se raréfient en descendant vers les sebkhas (Allal-Benfekih, 2006).

Les sols d'Adrar sont des sols squelettiques où la production d'argile est faible et la fraction grossière est dominante. Ces sols sont sableux et touffus de cailloux. Sont formés généralement 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 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. Elle est formée de palmiers, quelques végétaux fixateurs de dunes et quelques plantes halophytes qui se raréfient en descendant vers les sebkhas (Allal-Benfekih, 2006).

2.2.6.1.5 : La région du Tassili N'Ajjer (Illizi et Djanet)

Ce site classé comporte l'ensemble du massif du Tassili N'Ajjer dans les limites suivantes :

A l'Est : la frontière avec la Libye depuis 26 ° 40' de latitude Nord jusqu'à 23° 30' ; au Sud - Est : la frontière avec le Niger jusqu'au Mont Mossi Nabonil ; au Sud-Ouest et Ouest: depuis Mossi Nabonil, la limite suit les monts Edembo, puis Ouamasser et Tin Enouar.

La falaise tassilienne forme les limites du massif jusqu'à l'extrême ouest sur la carte topographique (comme sur le terrain); cette falaise est très nettement discernable. La falaise du plateau de Djanet domine l'erg d'Admer jusqu'à l'akba d'Assakao ; cette dernière s'oriente d'Est en Ouest, jusqu'à Zawatallaz .

La falaise tassilienne se trouve ensuite au sud de l'Ifedaniouene s'orientant vers l'Ouest en dominant l'erg Tihodaine en longeant les monts Ahellakene par le Sud jusqu'à Amguid (26° 25' lat Nord et 5°20' de longitude Est).

Au Nord, la délimitation du massif est moins nette, aussi nous avons choisi comme limite la piste qui emprunte la dépression correspondant à la zone de contact entre le Tassili et les ergs Isaouane, N'Tifermine puis Isaouane N'Irarraren. Elle débute de Amguid à Illizi puis à l'Est longeant le Tihemboka où elle atteint la frontière libyenne et redescend un peu au sud jusqu'à Tarat. Les coordonnées extrême du massif sont : 23 ° 15' ; 26 ° 40' latitude Nord et 5 ° 20' ; 12 ° longitude Est. La superficie du parc national du Tassili N'Adjer est de 80000 km² (Hamdine, 2001).

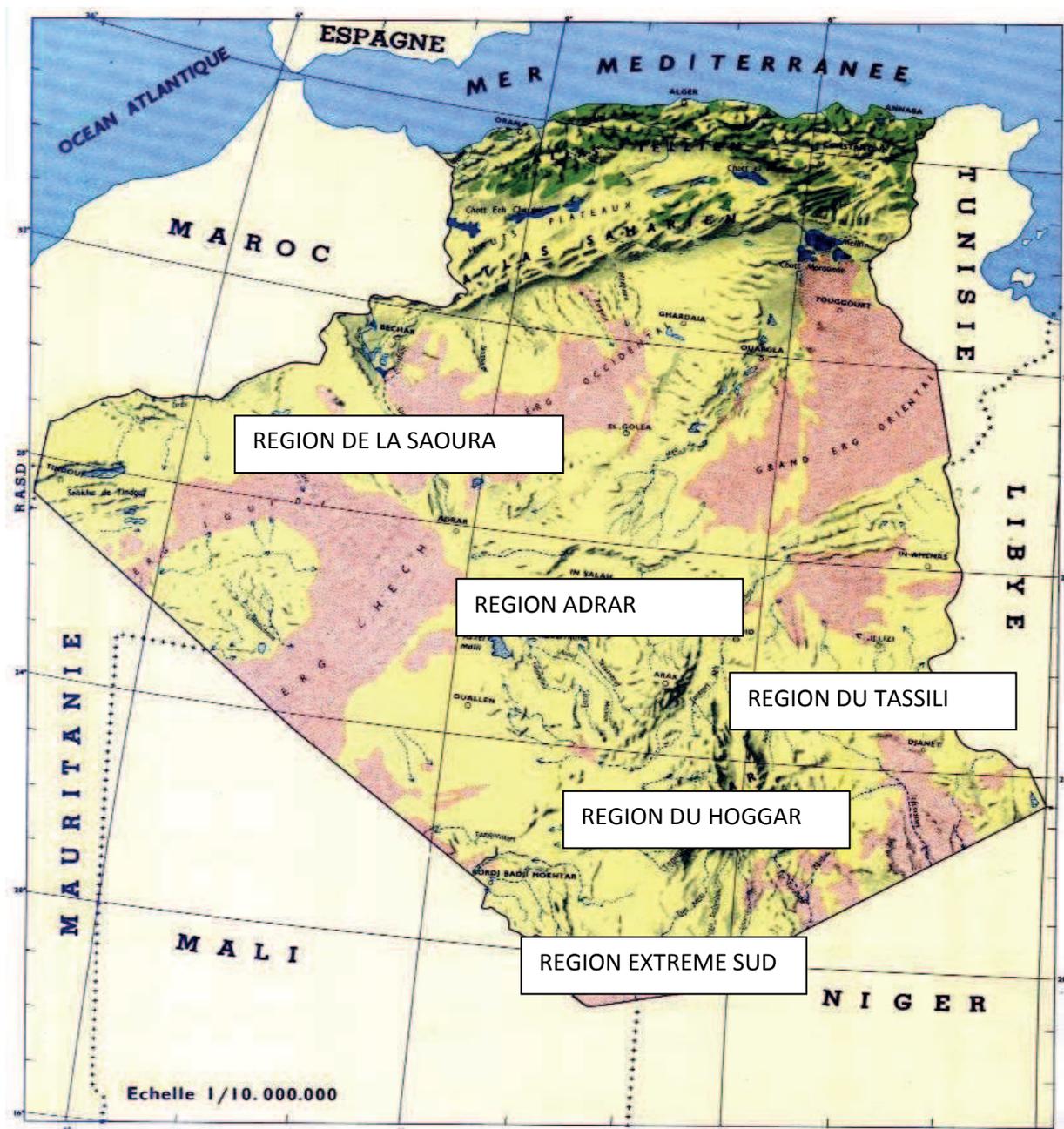


Figure 18 :Les différentes régions d'étude.

2.2.6.2 : Délimitation des zones d'études

La délimitation des zones à étudier a été faite sur la base de l'intensité de nombre des prospections réalisées depuis 1980 à 2013 et la présence de stations météorologiques. En effet, les régions où les prospections étaient régulières et intenses sont considérées comme des zones accessibles renfermant l'essentiel de l'information acridienne et écologiques nécessaires pour réaliser des études. Ainsi, nous avons pu identifier 11 zones homogènes :

Tamanrasset, Assekrem, Bordj Badji Mokhtar, In Guezzam, Djanet, Illizi, Adrar, Timimoune, Béchar et Tindouf (fig. 19).

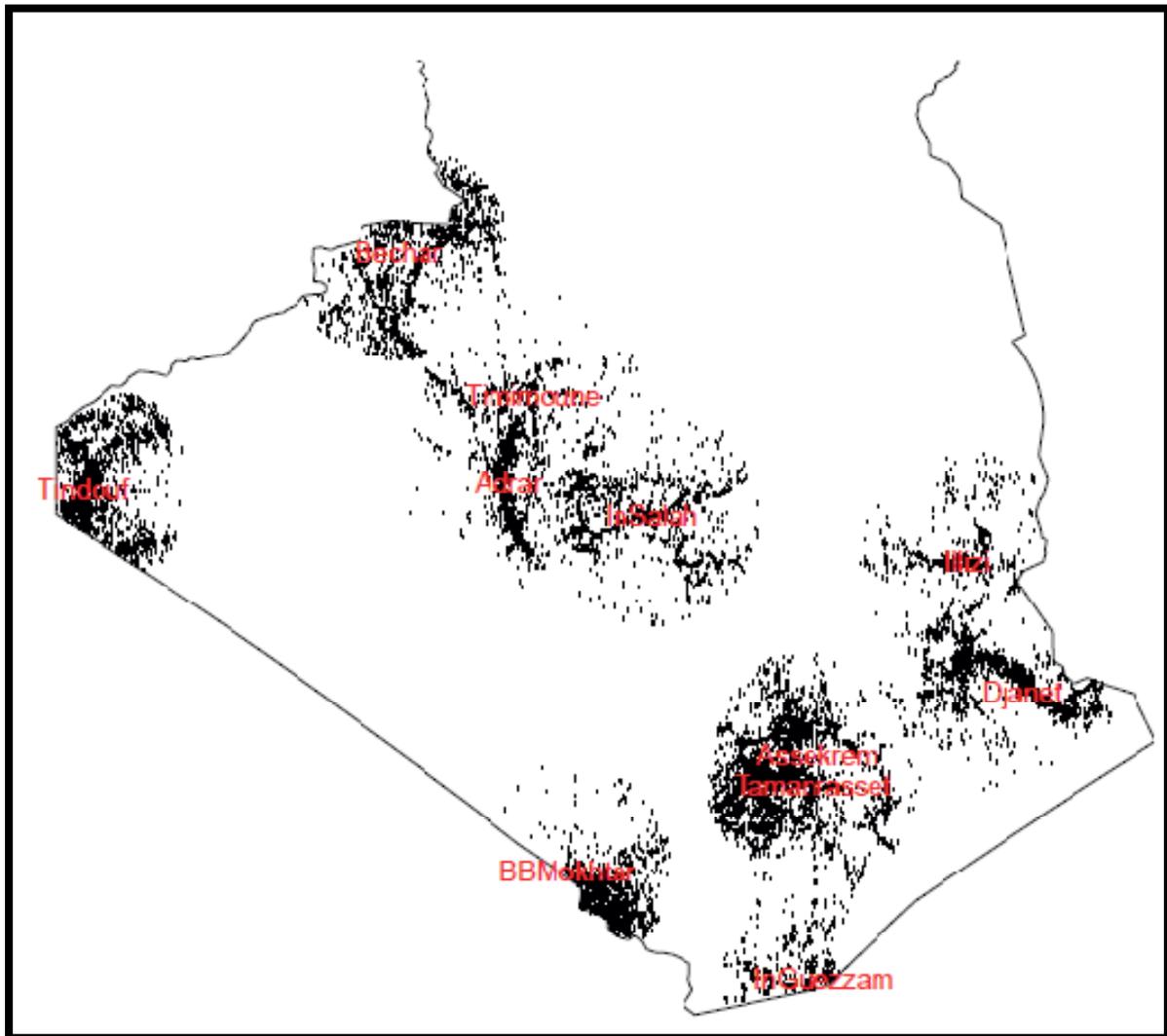


Figure 19 : Différentes zones d'étude : Tamanrasset, Assekrem, Bordj Badji Mokhtar, In Guezzam, Djanet, Illizi, Adrar, Timimoune, Béchar et Tindouf.

Chaque point correspond à une ou plusieurs prospections acridiennes réalisées au cours de la période 1980 à 2013.

2.2.6.3 : La zone d'étude pilote du Hoggar

Les différentes études relatives au suivi de l'évolution de conditions écologiques et régime alimentaire du criquet pèlerin ont été réalisées au niveau de la région du Hoggar qui est considérée comme zone potentielle de reproduction des solitaires et des transiens.

Ces études ont été réalisées au niveau des oueds Amded et Tikouiat situés au sud-ouest demassif du Hoggar et qui renferment des zones potentielles de reproduction des solitaires et des transiens (fig. 20).

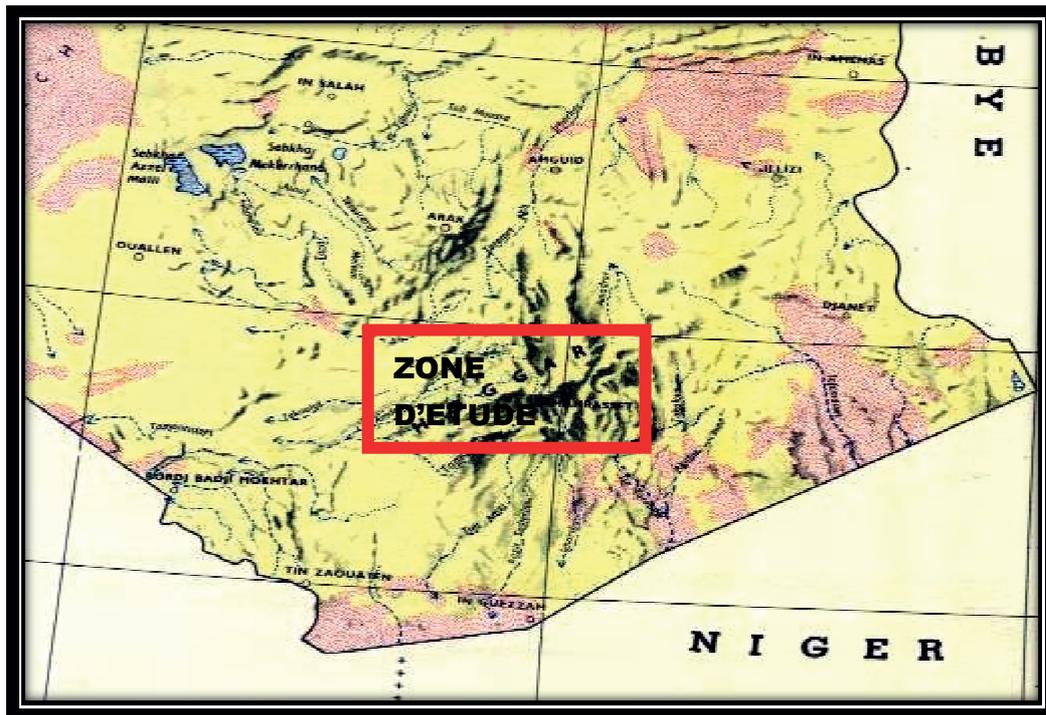


Figure 20 : La zone d'étude pilote au niveau du Hoggar.

Chapitre 3 : Résultats

3.1: Distribution du criquet pèlerin en Algérie

3.1.1: Spatialisation des populations acridiennes par phase

3.1.1.1: Spatialisation observée

3.1.1.1.1: Ailés grégaires

Les ailés grégaires ne sont présents qu'en périodes d'invasion généralisée. Ils se présentent le plus souvent sous forme d'essaims, mais aussi d'individus isolés. En effet, en situation d'invasion, les ailés grégaires ont été signalés dans tout le territoire algérien. Les signalisations les plus septentrionales avoisinent la 36^{ème} latitude Nord (fig.21).

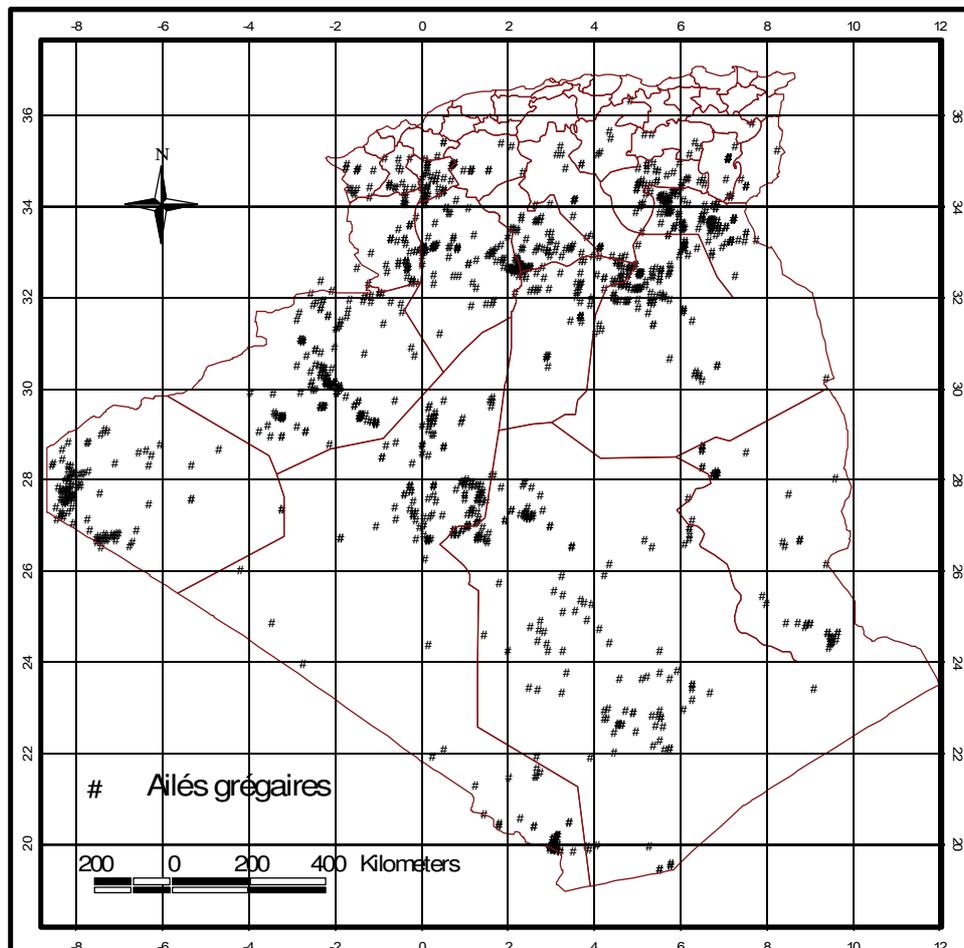


Figure 21 : Répartition des ailés grégaires durant les périodes de fortes activités acridiennes.

3.1.1.1.2: Larves grégaires

Comme pour les ailés grégaires, les larves grégaires sont signalées notamment en périodes d'invasions généralisées. Les larves grégaires sous forme de bandes larvaires et groupes dispersés ont été observées dans tout le territoire algérien. La présence la plus septentrionale est située entre les 35^{ème} et 36^{ème} degrés de latitude Nord (fig.22).

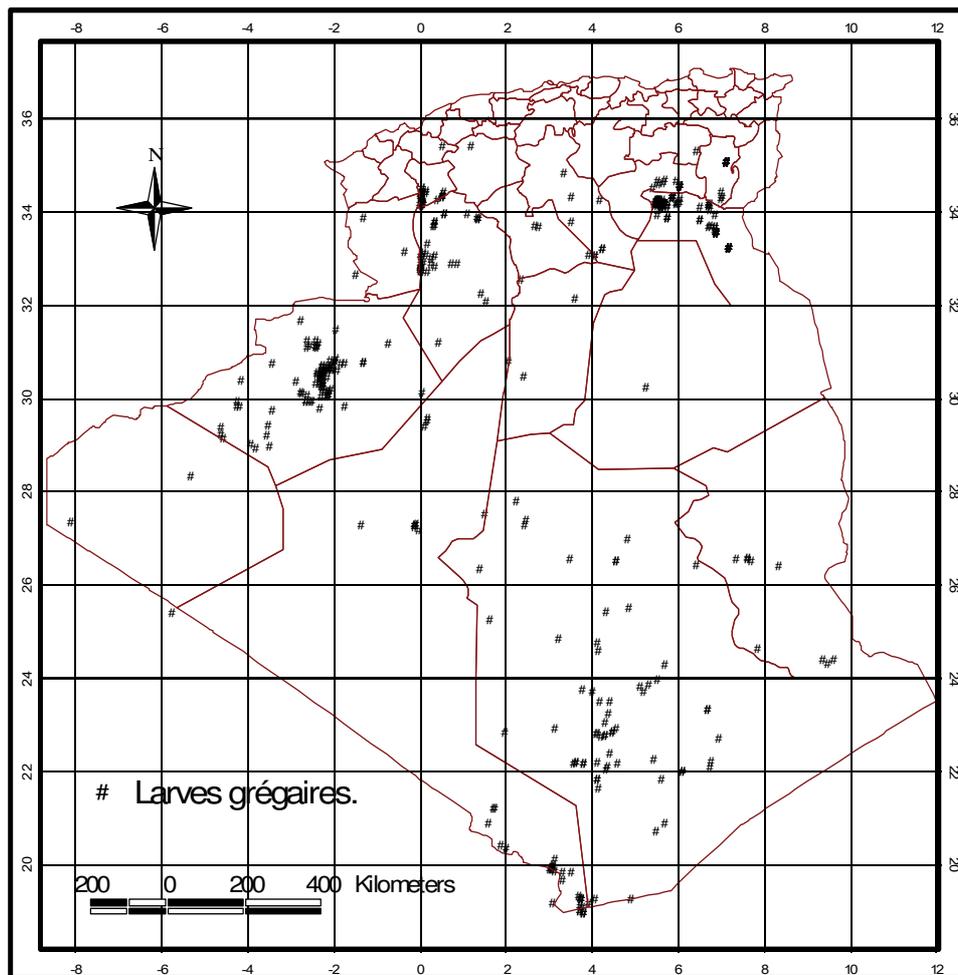


Figure 22 :Répartition des larves grégaires durant les périodes de fortes activités acridiennes.

3.1.1.1.3: Ailés transiens

Les transiens ont été signalés durant les années d'invasions et les années de recrudescences. En période d'invasion les transiens peuvent dépasser le 36^{ème} degré de latitude Nord. Par contre, durant les périodes de recrudescence et de résurgence, les transiens ont été signalés dans la partie saharienne du territoire algérien à la limite du 33^{ème} parallèle Nord (fig. 23).

En périodes de recrudescence, les signalisations les plus septentrionales ont été observées au niveau des wilayas de Naama, El Bayadh, Ghardaia, Laghaouat et Ouargla.

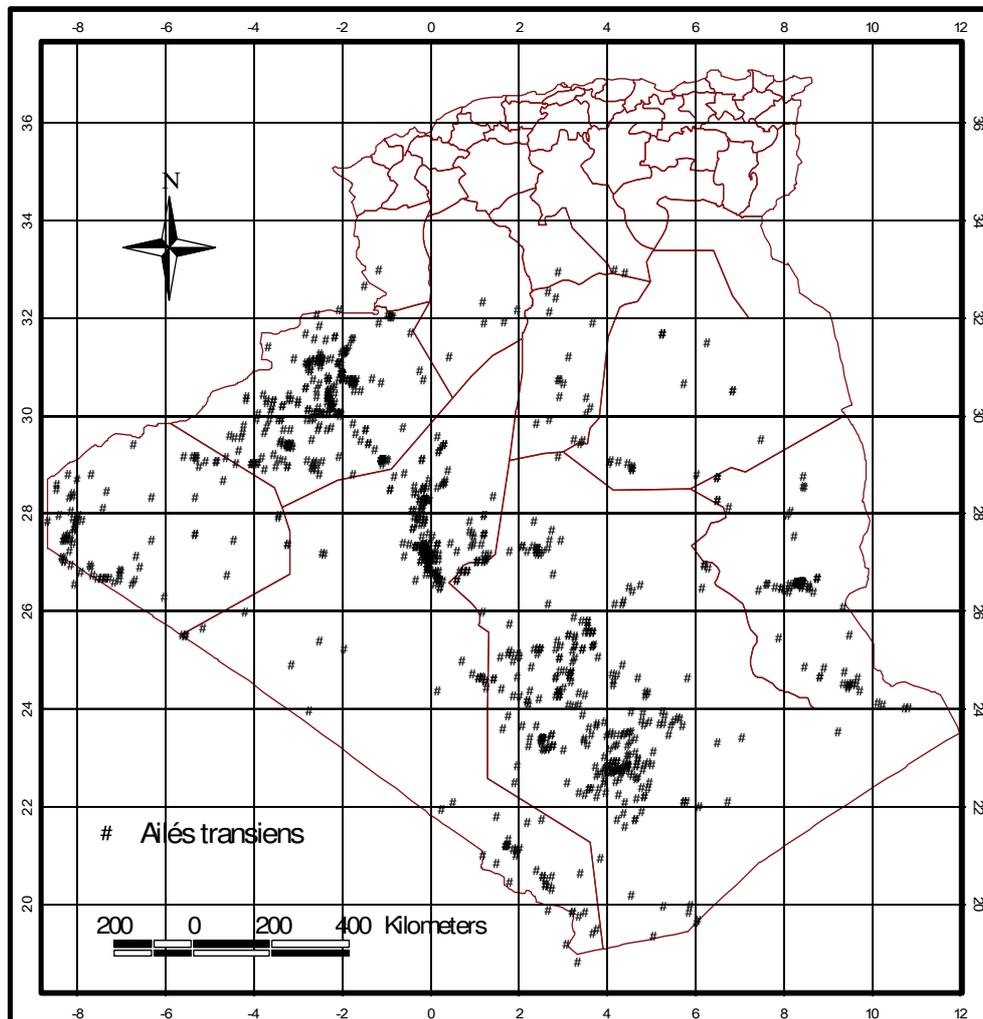


Figure 23 :Répartition des ailés transiens durant les périodes de recrudescence.

3.1.1.1.4: Larves transiens

Les larves transiens ont été signalées dans toutes les wilayas du sud de l'Atlas saharien à la limite de la 32^{ème} parallèle Nord. Le plus fort nombre des signalisations des larves transiens a été observé dans les wilayas de Béchar, Adrar et Tamanrasset (fig.24).

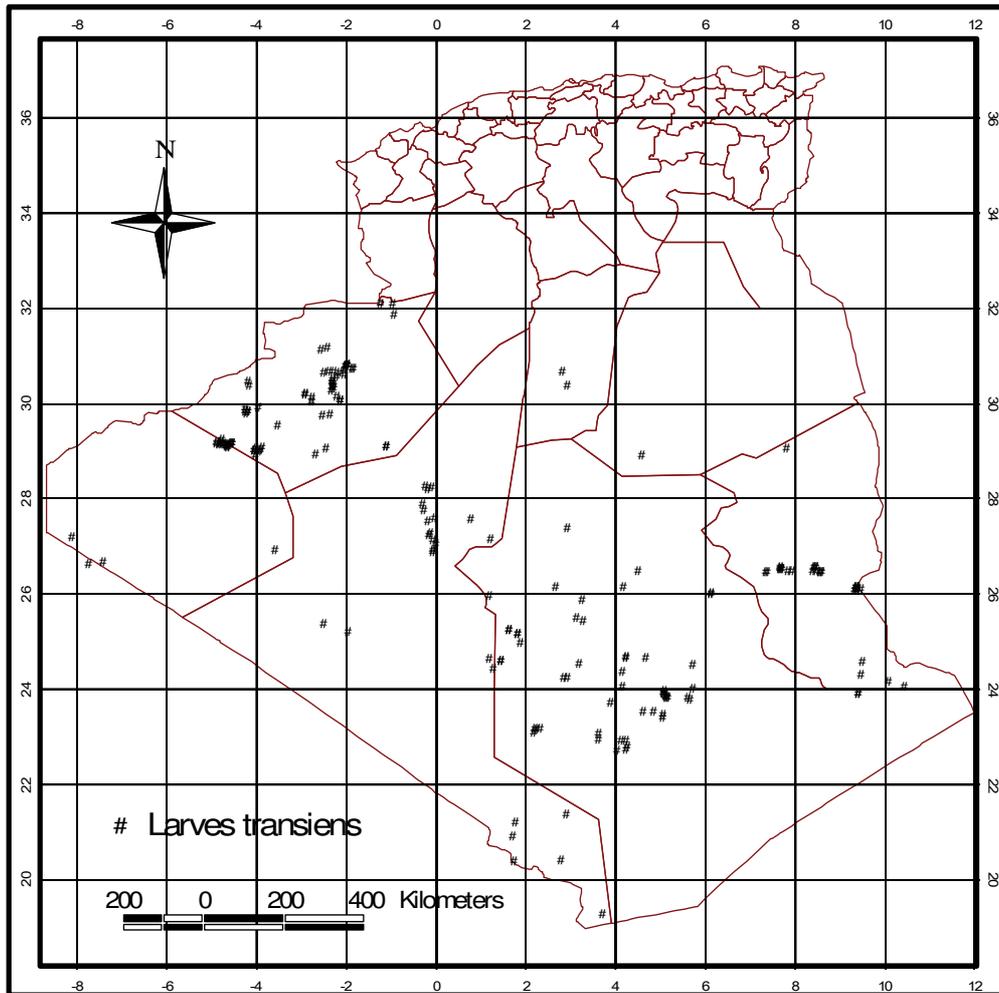


Figure 24 :Répartition des larves transiens durant les périodes de recrudescence.

3.1.1.1.5: Ailés solitaires

La répartition des ailés solitaires durant la période allant de 1965 jusqu'à 2008 montre que ce stade a été signalé dans toutes les wilayas sahariennes situées au Sud du 32ème parallèle Nord (fig.25).

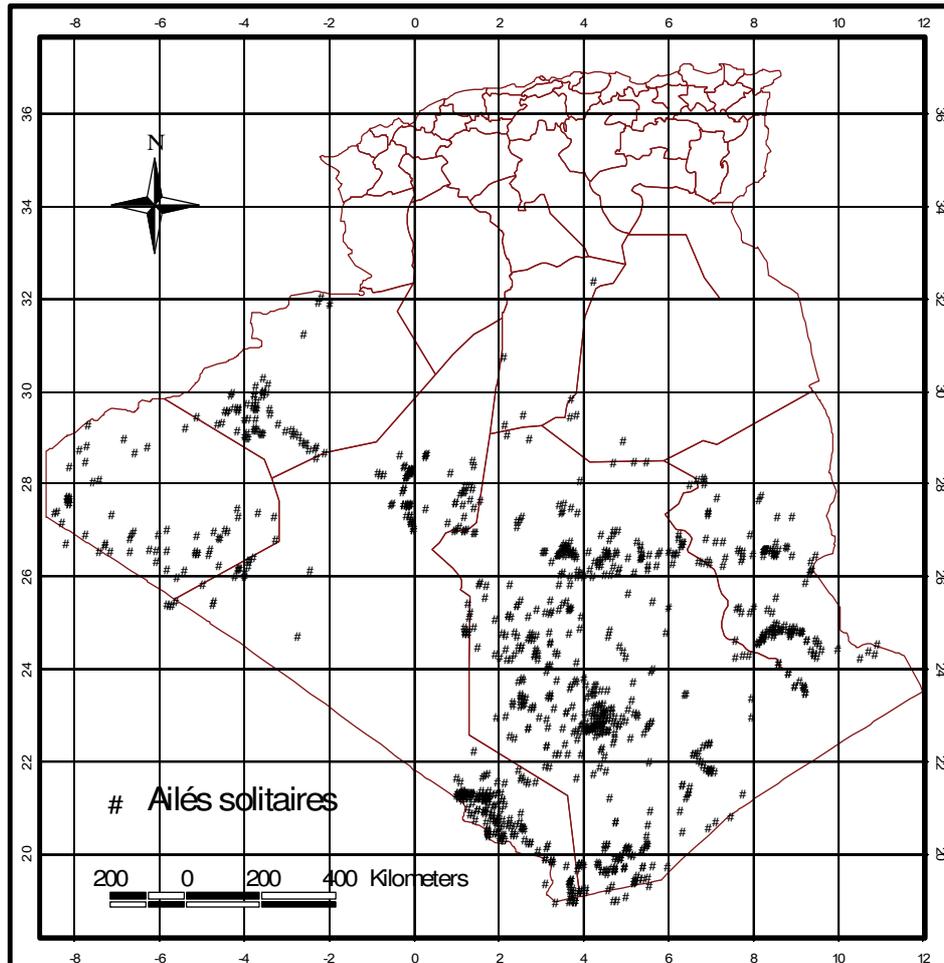


Figure 25 :Répartition des ailés solitaires durant les périodes de rémission.

3.1.1.1.6: Larves solitaires

Les larves solitaires sont signalées au Sud de la 30ième parallèle Nord. Les fortes présences ont intéressé les wilayas sahariennes de Tamanrasset, d’Adrar et d’Illizi. En revanche, les wilayas de Béchar et de Tindouf n’ont abrité qu’un faible nombre de larves solitaires (fig.26).

En général, les signalisations de larves solitaires sont en faibles nombre ceci est du à la difficulté de repérer les larves notamment des trois premiers stades de couleur vert disséminées dans la végétation de la même couleur.

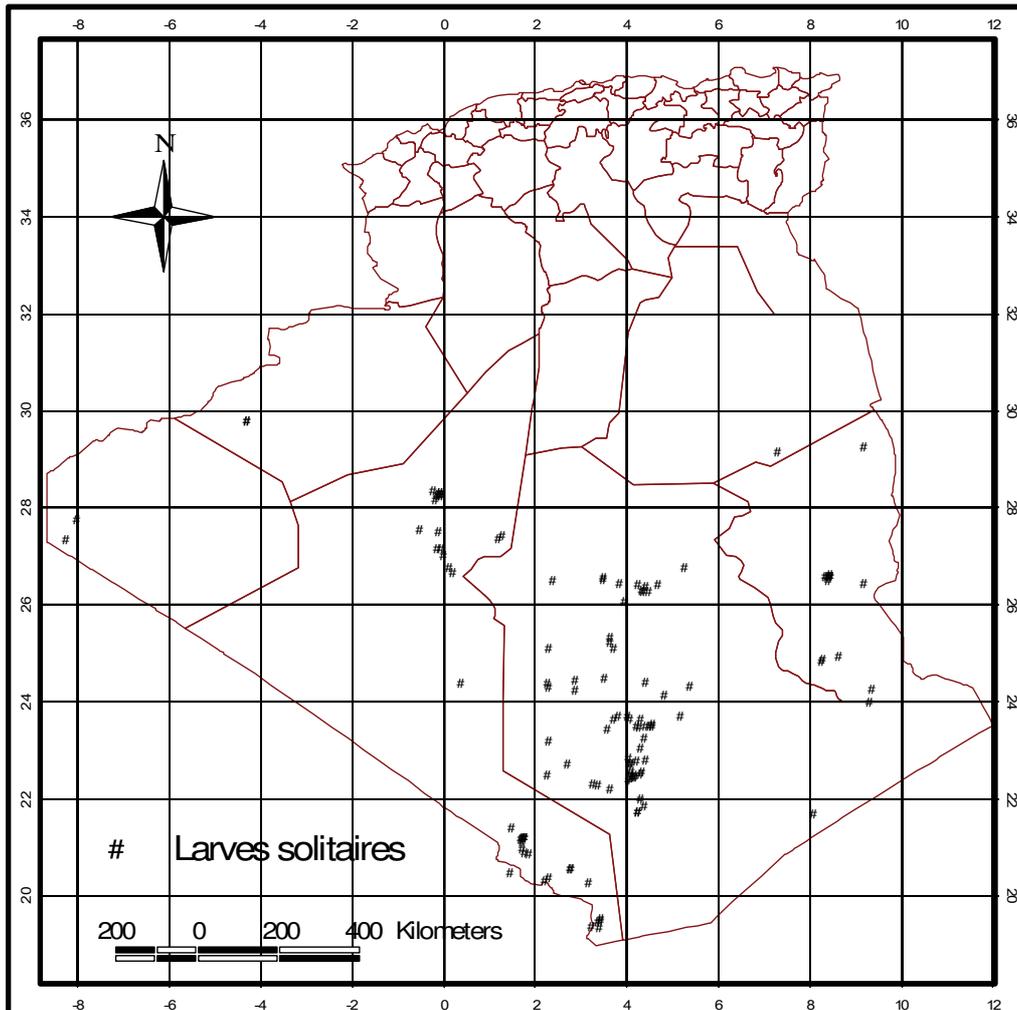


Figure 26 : Répartition des larves solitaires durant les périodes de rémission.

3.1.1.2: Spatialisation mensuelle de la présence des solitaires et des transiens

La spatialisation mensuelle probable de la présence des solitaires et des transiens (fig.27 à 38) réalisée par une analyse statistique sous logiciel R, nous a permis de montrer les faits suivants:

- Au mois de janvier, les plus importantes présences acridiennes ont été localisées au niveau du Hoggar avec une faible probabilité de présence au niveau de l'extrême sud, sud-est et sud ouest du Sahara algérien.
- Au mois de Février, les fortes probabilités de présence ont été observées au niveau du Hoggar, sud ouest et le Sahara central,

- Au mois de mars, tout l'habitat du criquet pèlerin est concerné par une forte présence. Il s'agit des régions du Hoggar, Sahara central, sud-ouest et le sud-est.
- Aux mois d'avril mai et juin, en plus des zones colonisées au mois de mars, la forte présence acridienne a été observée au niveau du sud-est;
- Au mois de juillet, la probabilité d'observer de fortes concentrations de criquets est limitée uniquement au Sahara central et au Hoggar;
- Au mois d'août, la probabilité de présence est limitée au sud du Hoggar et à l'extrême sud;
- Au mois de septembre, uniquement une faible présence acridienne a été observée au niveau du Hoggar;
- Au mois, d'octobre, les criquets sont fortement présents au niveau du Hoggar et le Sahara central;
- Aux mois de novembre et décembre, prolongement de la probabilité d'observer de fortes présences acridiennes au niveau du Hoggar, sud-ouest et le sud-est.

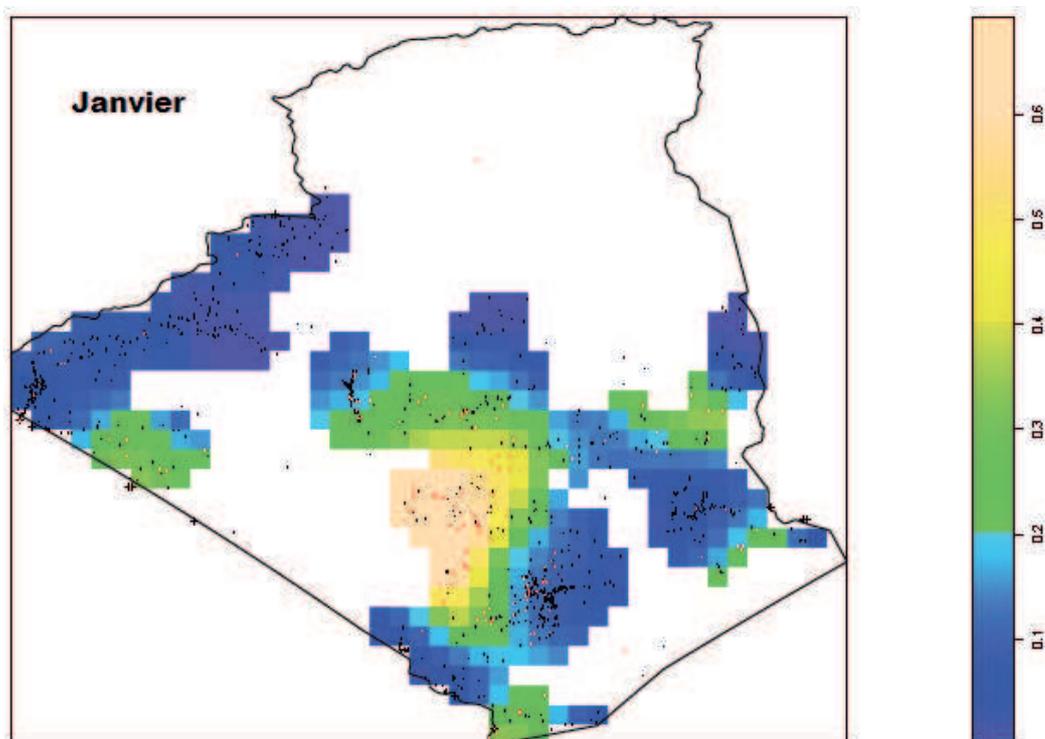


Figure 27 : Probabilité de présence des solitaires et des transiens durant le mois de janvier.

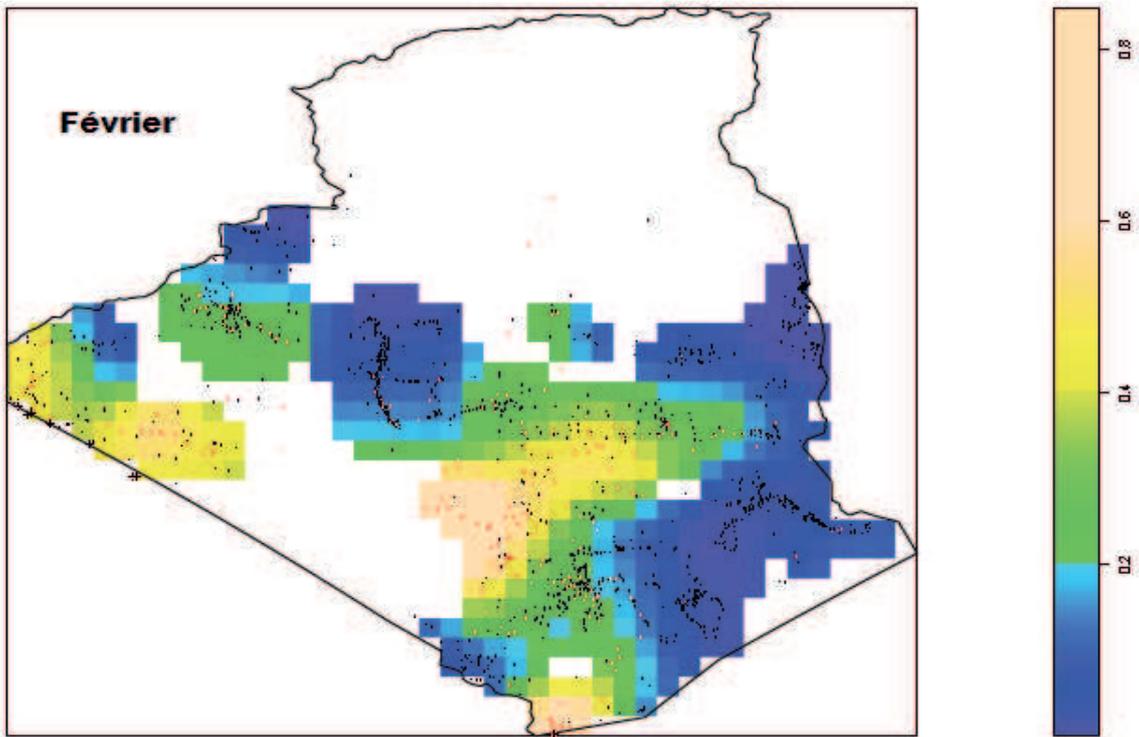


Figure28 : Probabilité de présence des solitaires et des transiens durant le mois de février.

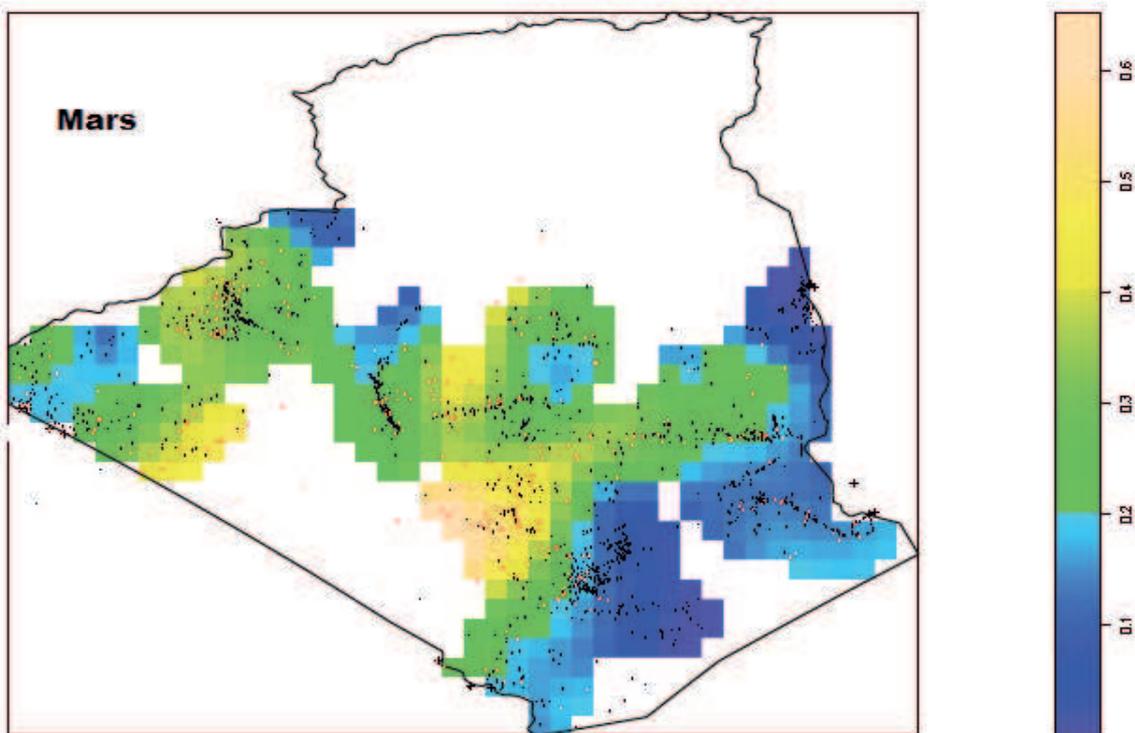


Figure 29 : Probabilité de présence des solitaires et des transiens durant le mois de mars.

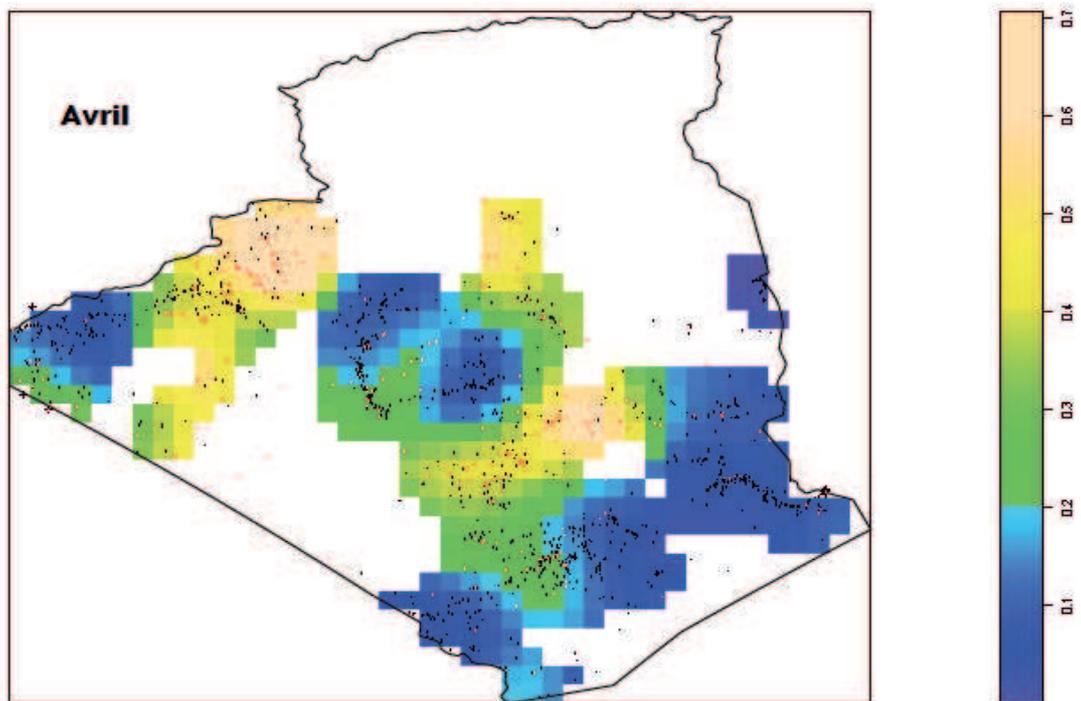


Figure 30 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois d'avril.

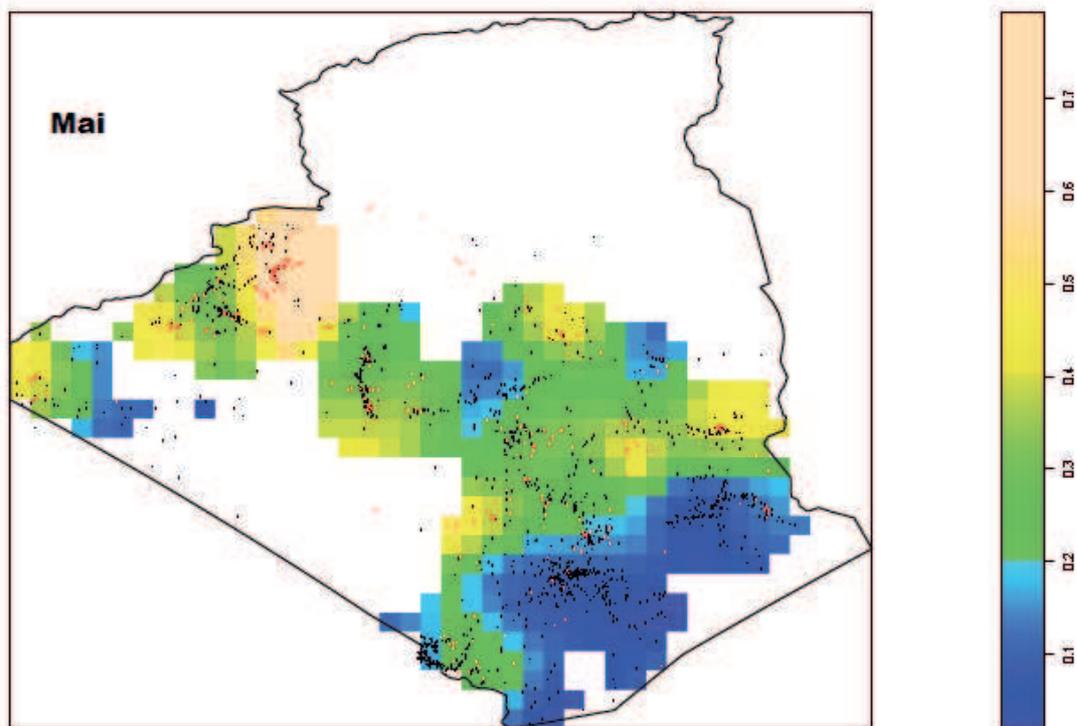


Figure 31 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de mai.

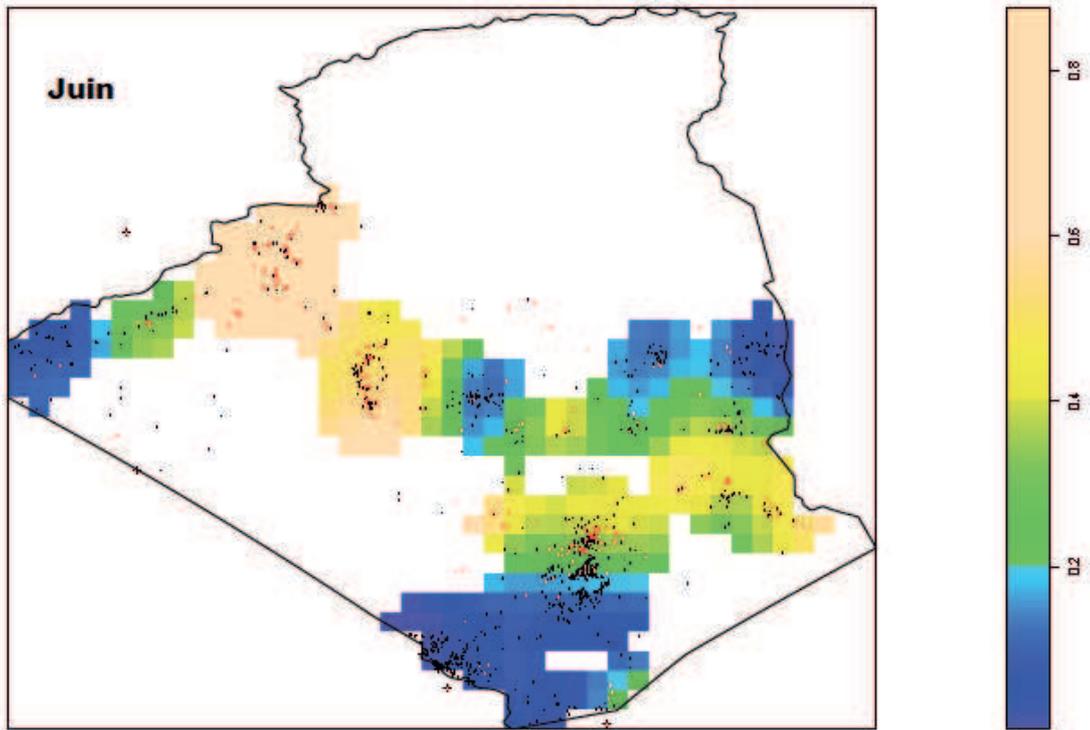


Figure 32 :Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de juin.

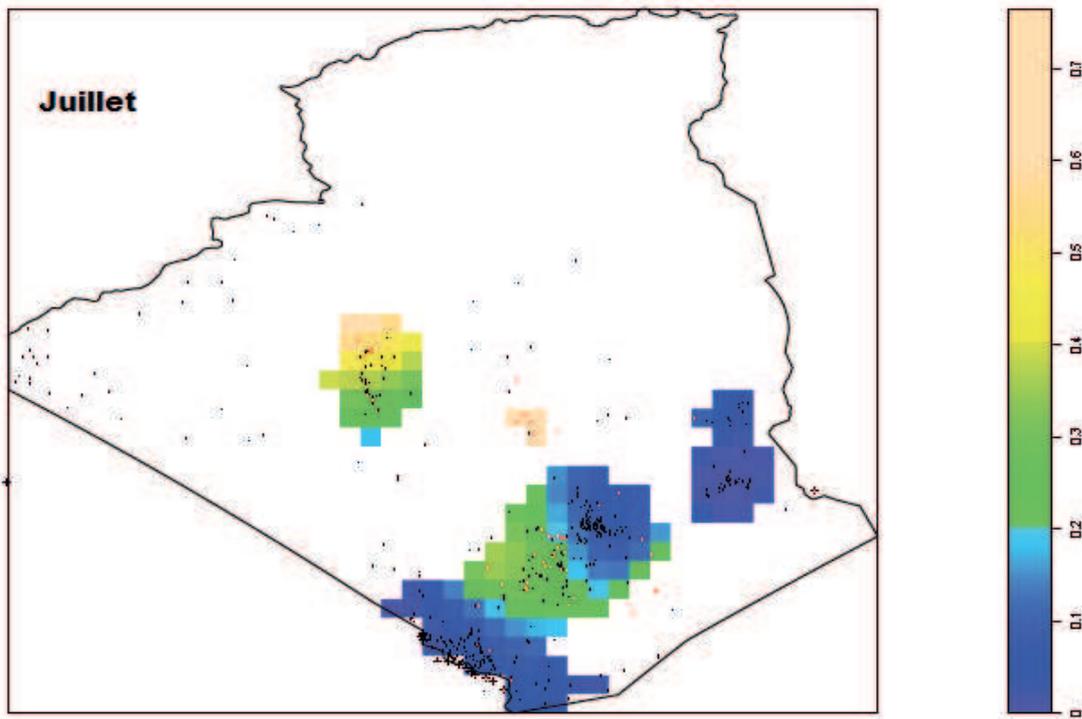


Figure 33 :Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de juillet.

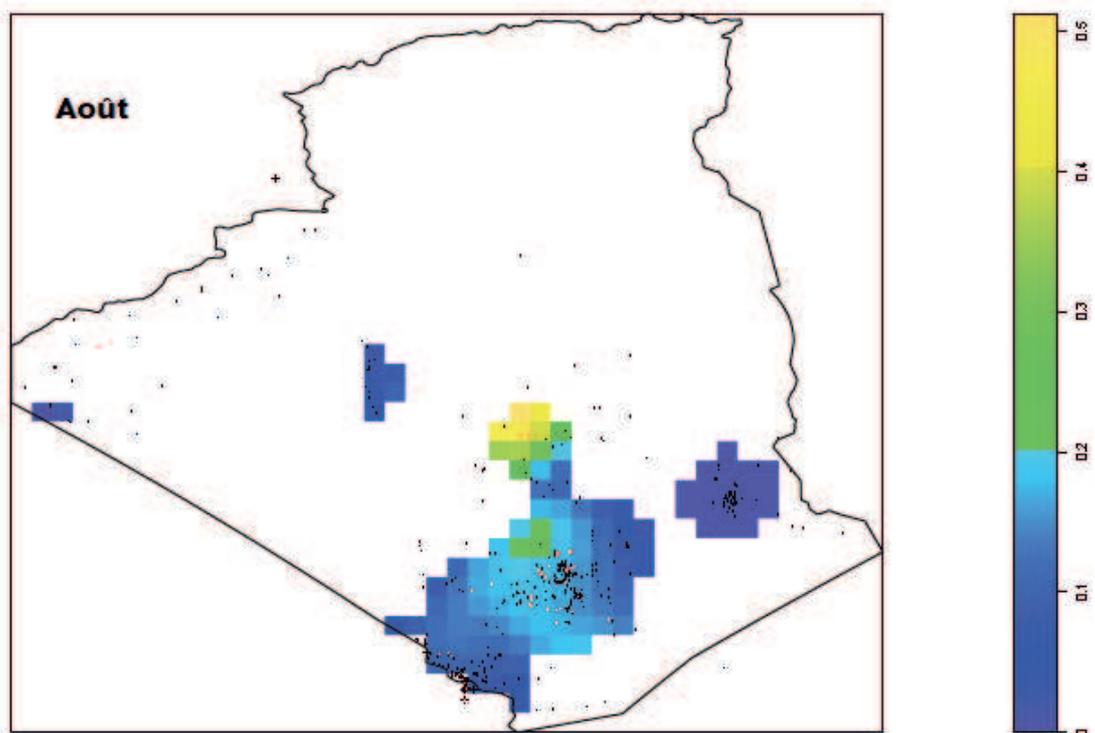


Figure 34 :Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois d’août.

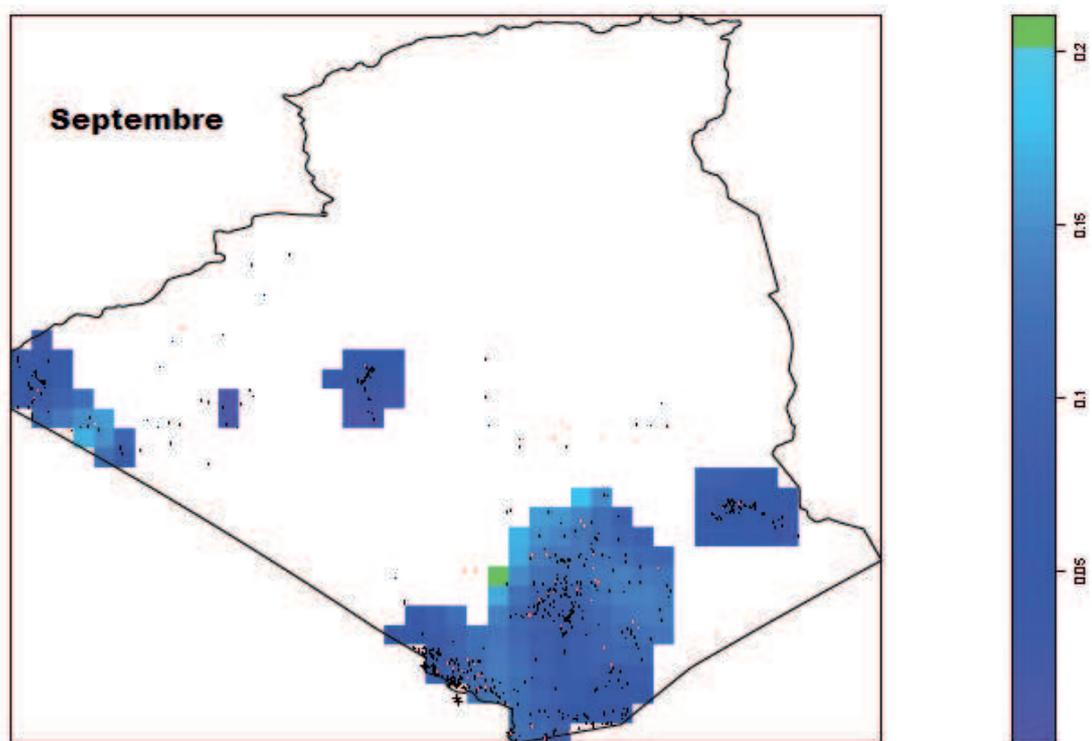


Figure 35 :Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de septembre.

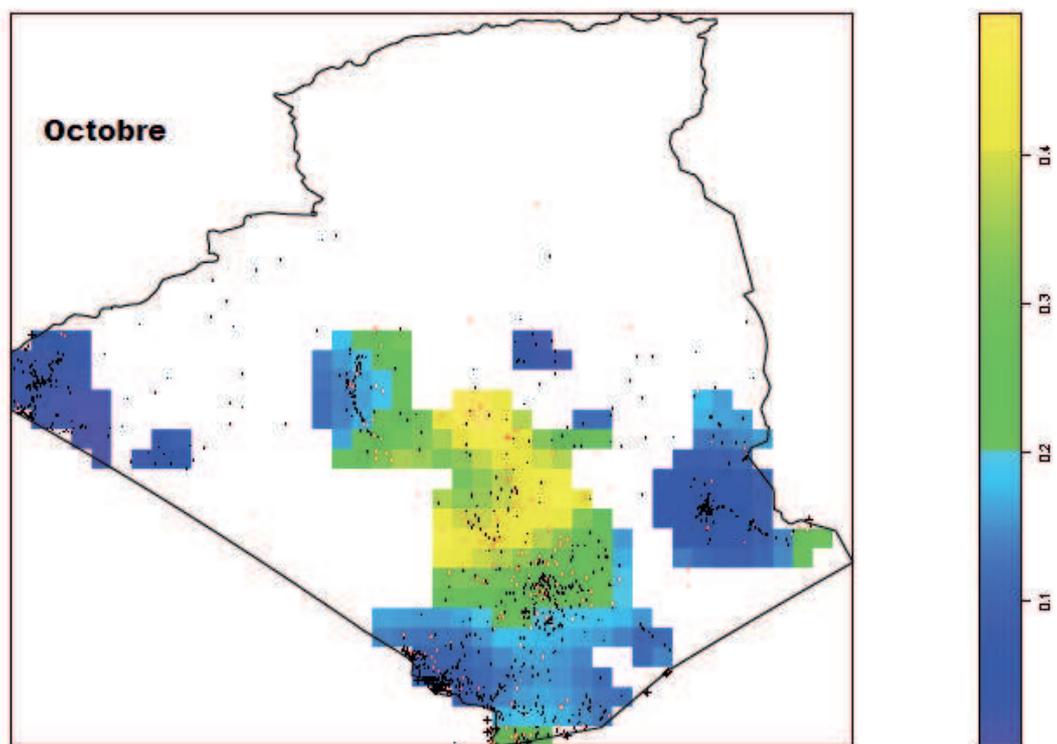


Figure 36 :Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois d’octobre.

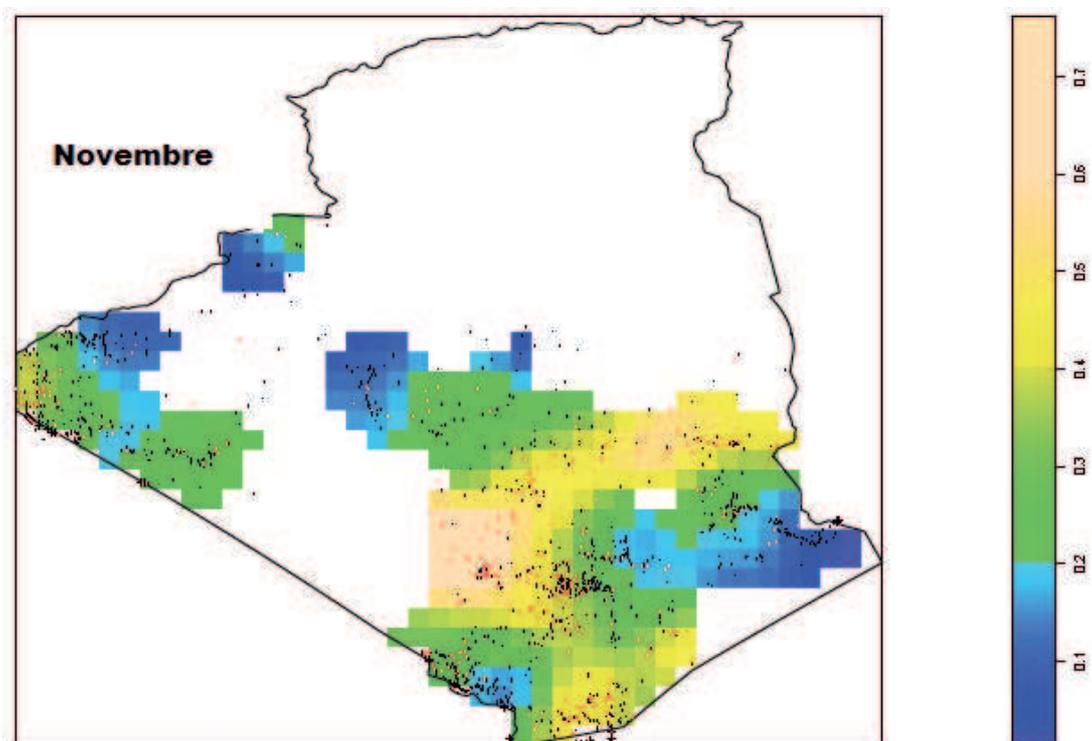


Figure 37 :Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de novembre.

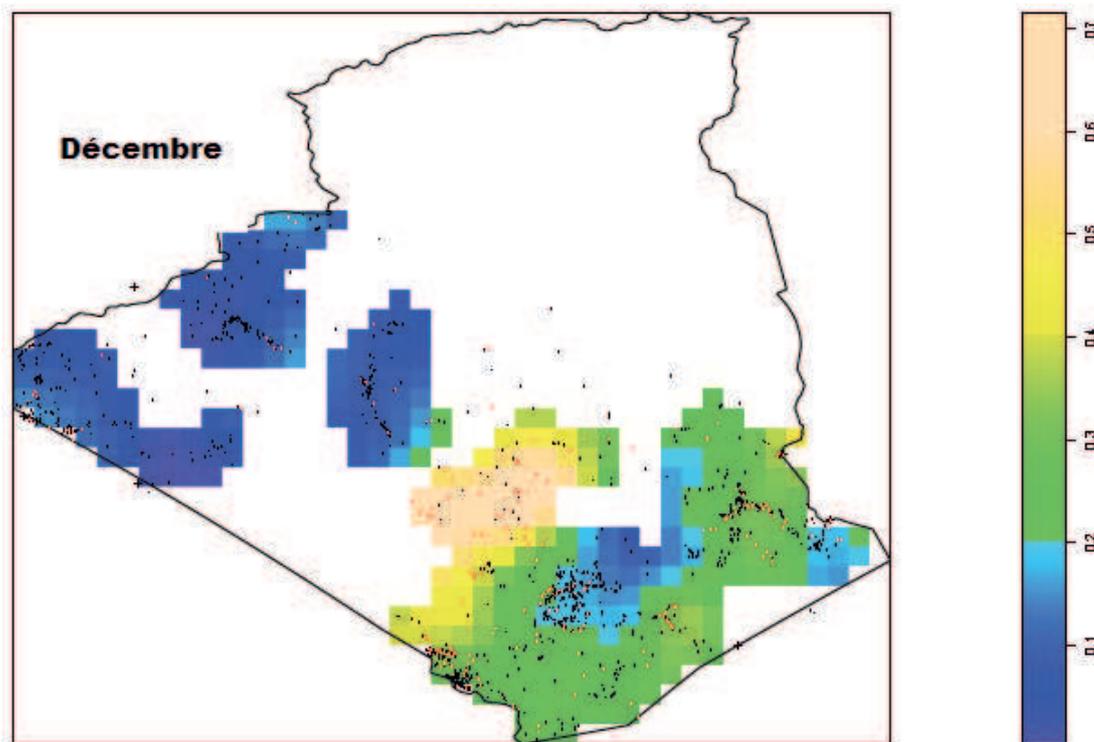


Figure 38 : Probabilité de présence des solitaires et les transiens durant le mois de décembre.

3.1.2: Cartographie des zones de reproduction des solitaires et des transiens

3.1.2.1: Chronologie des événements acridiens en Algérie 1965-2008

La présentation des signalisations acridiennes mensuelles et annuelles en Algérie de tous les stades biologiques - solitaires, transiens et grégaires - de 1965 à 2008, montre que l'Algérie a connu plusieurs situations acridiennes extrêmes.

3.1.2.1.1 : Ailés et larves grégaires

Les périodes dominées par les grégaires en Algérie ont été identifiées par rapport aux nombres de mois de présence des ailés et larves grégaires. La figure 39 montre que l'Algérie a connu plusieurs situations caractérisées par une présence prolongée des grégaires. En effet, les années où les grégaires ont été signalés plus de 5 mois par année sont : 1980, 1988, 1995, 2004 et 2005. Les présences les plus prolongées ont été observées en pléines années d'invasion en 1988 et 2004.

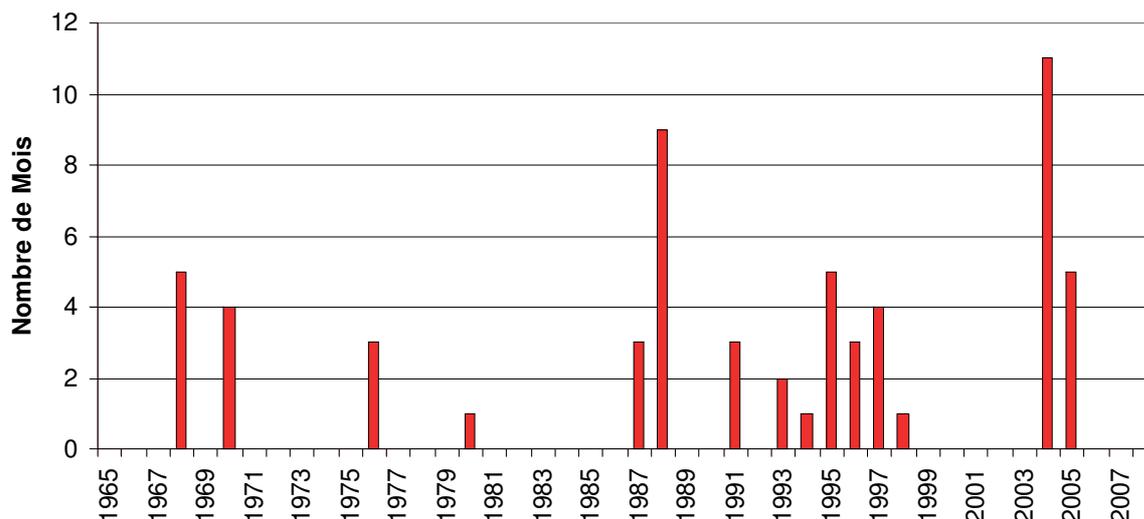


Figure 39 :Nombre de mois des années dominées par la présence des grégaires.

Les signalisations mensuelles des ailés et des larves grégaires (Fig. 40) montre que les nombres importants des signalisations ont concerné les mois de février (272), mars (115), novembre (220), décembre (218) pour les ailés et les mois d'avril (110) et mai (190) pour les larves.

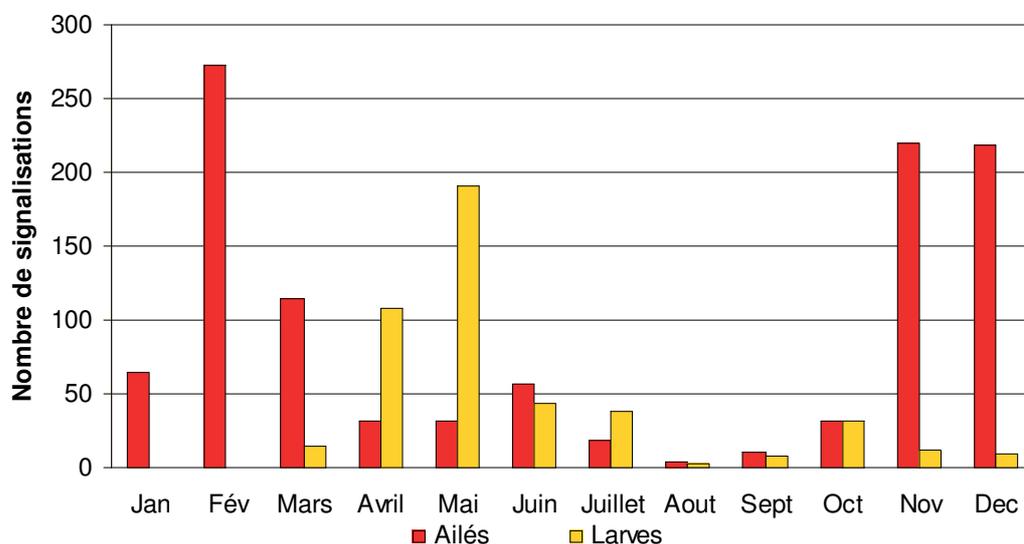


Figure 40 :Nombre de signalisations mensuelles des ailés et larves grégaires.

3.1.2.1.2 : Ailés et larves transiens

La figure 41 montre que l'Algérie a connu plusieurs situations caractérisées par une présence prolongée des transiens. La présence mensuelle des transiens montre que ces derniers ont été signalés régulièrement de 1965 au 2007, excepté les années 1971, 1978, 1979, 1982, 1983, 1984, 1985, 1990, 2001. Les années où la présence mensuelle a dépassé 4 mois sont 1980, 1975, 1976, 1981, 1988, 1989, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 2003.

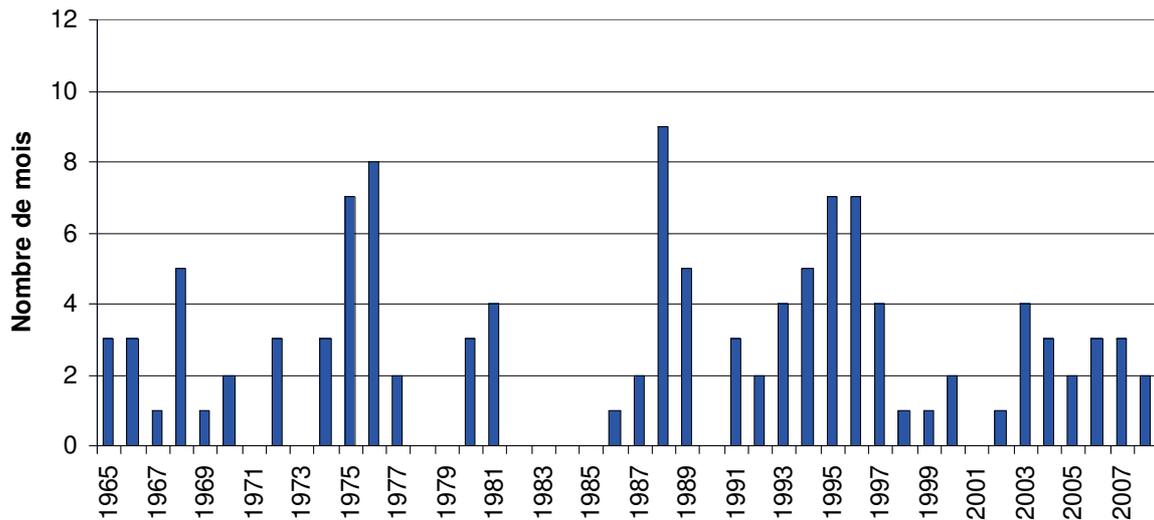


Figure 41 : Nombre de mois concernés par la présence des transiens.

Les signalisations mensuelles des ailés et des larves transiens (fig. 42) montre que les fortes signalisations ont concerné les mois de mars (142), avril (123), mai (149), juin (223), octobre (81), novembre (139) pour les ailés et les mois d'avril (49) et mai (63) pour les larves.

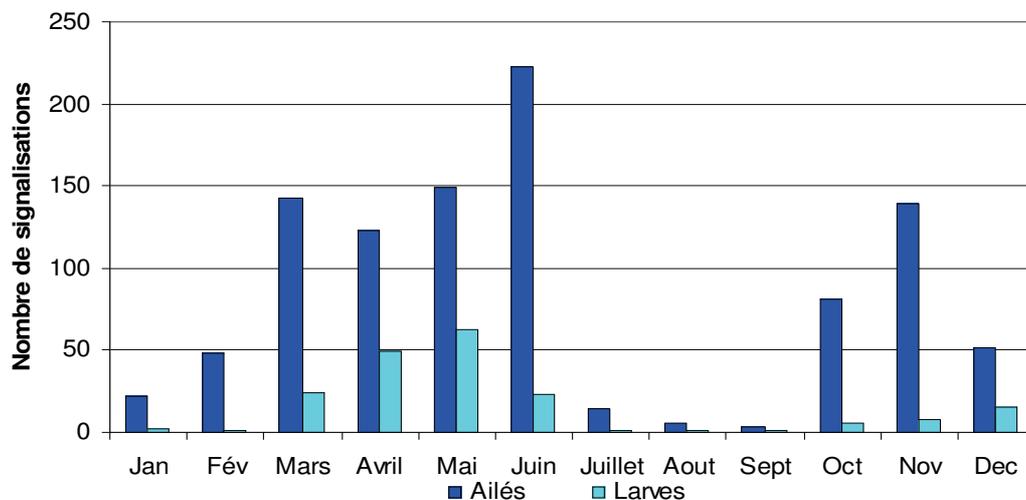


Figure 42 : Nombre de signalisations mensuelles des ailés et larves transiens.

3.1.2.1.3 : Ailés et larves Solitaires

La figure 43 montre que le criquet pèlerin à l'état solitaire a été signalé durant tous les mois de l'année pour toute la période d'étude excepté les années de 1981, de 1984 et de 1985. Les années de 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1994, 1996, 1997, 2003, 2007, 2008 étaient marquées par une présence des solitaires dépassant 8 mois par année. Le niveau le plus bas de la présence acridienne en Algérie depuis 1965 a été observé durant les années 1984 et 1985.

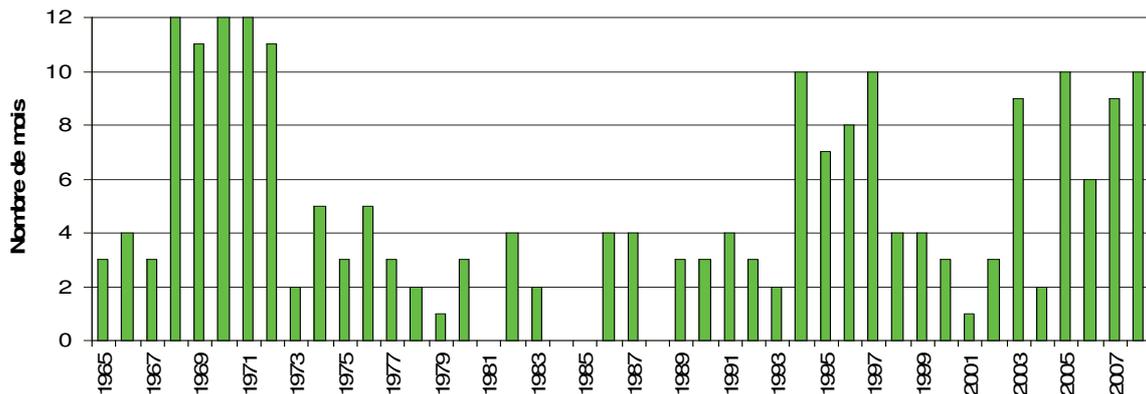


Figure 43 :Nombre de mois concernés par la présence des solitaires.

Les ailés solitaires ont été signalés durant tous les mois de l'année. 9 mois ont connu des présences dépassant 50 signalisations. Les larves solitaires ont été signalées sur 10 mois de l'année et seulement 2 mois ont connu une présence dépassant les 100 signalisations. (fig. 44).

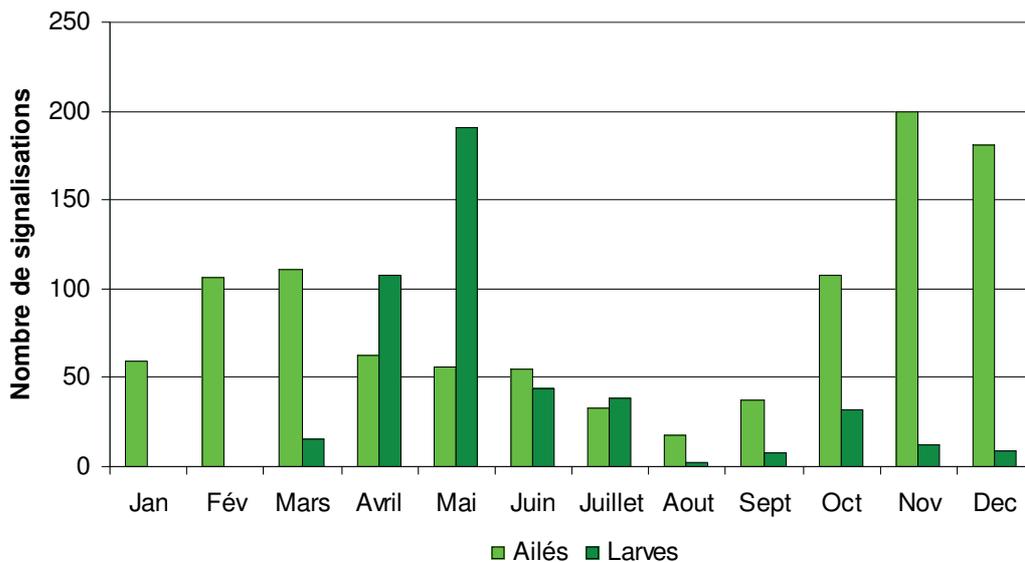


Figure 44 :Nombre de signalisations mensuelles des ailés et larves solitaires.

3.1.2.2: Délimitation des zones de reproduction des solitaires

3.1.2.2.1: Délimitation des zones de reproduction observées des solitaires

La lutte préventive contre le criquet pèlerin pour qu'elle soit efficace doit repérer les premières reproductions/concentrations avant que la situation devienne incontrôlable. Les premières pullulations sont amorcées par les solitaires. Pour cette raison, la délimitation des zones de reproduction a été basée sur la phase solitaire.

Positionnement des femelles solitaires en cours de ponte

De 1965 à 2008, 121 observations étalées sur 18 années, relatives aux femelles en cours de reproduction ont été repérées par les prospecteurs au niveau du Sud algérien. Le positionnement sur carte est matérialisé par un point représentant les coordonnées géographiques (longitude et latitude) de l'observation (fig. 45).

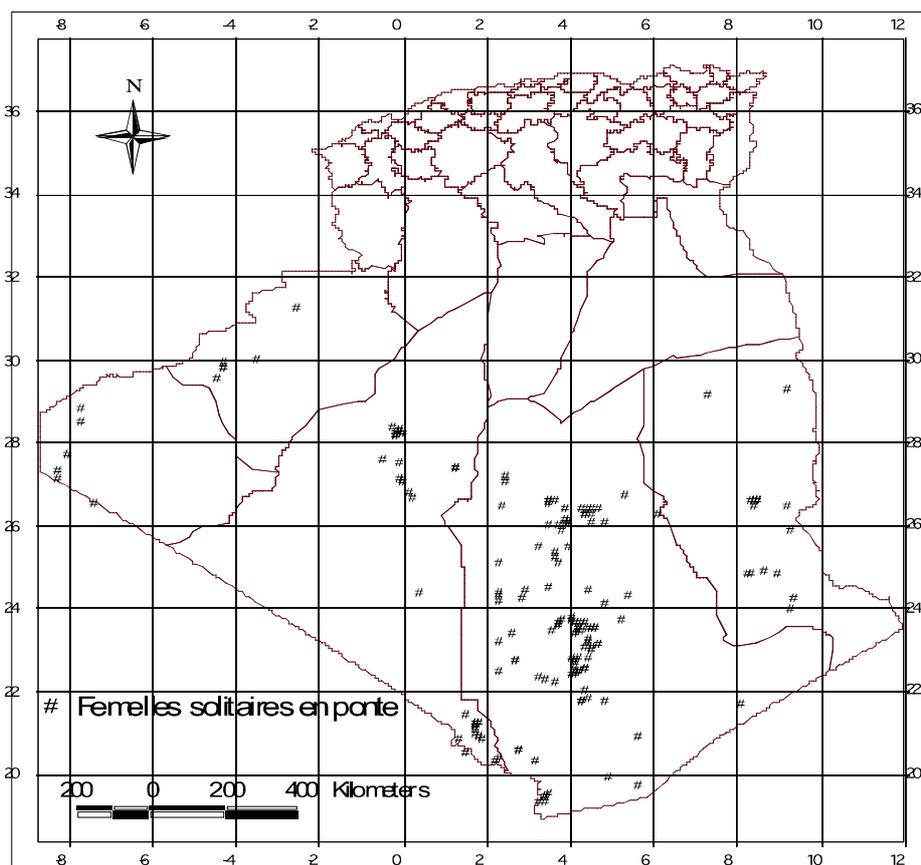


Figure 45 : Répartition des femelles solitaires en ponte durant les périodes de rémission.

Classification des zones de reproduction des solitaires

La classification des femelles solitaires en position de ponte par quart de degré carré durant les périodes de rémission allant de 1965 à 2008 montre qu'un nombre total de 27 quarts de degrés carrés a été concerné par la reproduction du criquet pèlerin en Algérie. (fig. 45)

Les 27 quarts de degrés carrés totalisent une superficie équivalente à 74.250 Km² (un degré carré équivalant à 11.000 km² et un quart degré carré équivalant à 2.750 Km²).

Répartition des classes au niveau du sud algérien

La répartition des classes au niveau du Sud algérien est comme suit (fig.46 et 47) :

- Classe 1 : Fréquence annuelle $>2 < 5$

Pour cette classe 16 quarts de degrés carrés ont été recensés et répartis au niveau des wilayas de Tamanrasset (10), Adrar/Bordj Badji Mokhtar (5), Illizi/Djanet (1).

La wilaya de Tamanrasset a abrité plus de 60 % des quarts de degrés carrés. Par contre, aucun quart de degré carré appartenant à cette classe n'a été localisé au niveau du Sud-Ouest (Tindouf et Béchar). La superficie totale occupée par cette classe est de 44.000 Km²

- Classe 2 : Fréquence annuelle = $5 < 9$

Pour cette classe uniquement 11 quarts de degrés carrés ont été recensés. Cette classe est présente au niveau des régions de Tamanrasset (9), Adrar (1), Illizi (1). La wilaya de Tamanrasset a abrité plus de 80% des quarts de degrés carrés. Cependant, Aucun quart de degré carré appartenant à cette classe n'a été localisé au niveau du Sud-Ouest (Tindouf et Béchar). La superficie totale occupée par cette classe est de 30.250 Km².

La superficie globale des 27 quarts de degrés carrés couvrant les zones de reproduction observées des femelles solitaires représente environ 3.71% de la d'habitat du criquet pèlerin

en phase solitaires en Algérie estimé à 2.000.000 km².

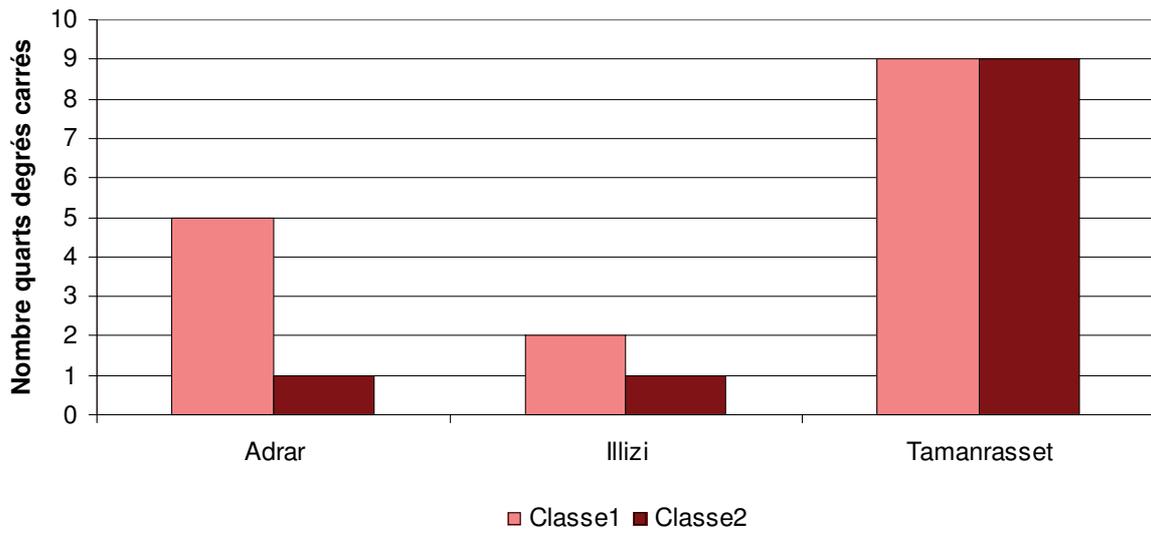


Figure 46 :Répartition par wilaya des quarts de degrés carrés classés.

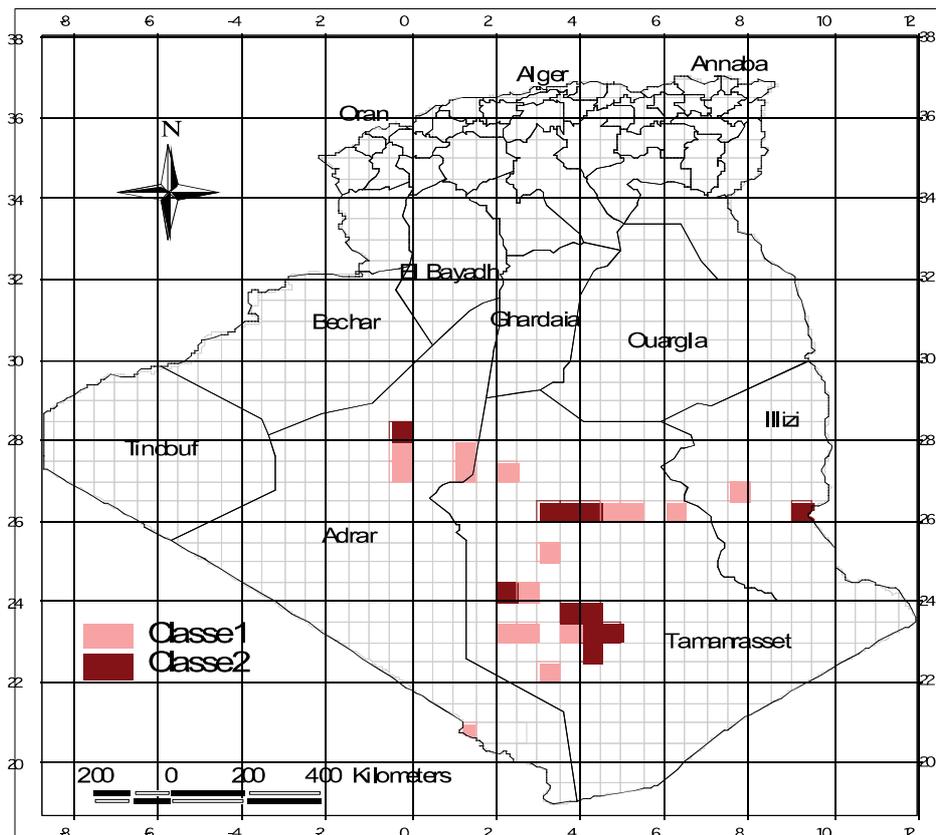


Figure 47 :Fréquences annuelles des reproductions des solitaires par quart de degré carré.

3.1.2.2.2: Délimitation des zones de reproduction potentielles des solitaires

Afin de réaliser une cartographie globale des zones de reproduction potentielles des solitaires, nous avons utilisé les informations relatives aux traitements entrepris contre les fortes densités et concentrations du criquet en périodes de rémission et les signalisations de larves peu mobiles. Ces deux informations concernent les concentrations des populations acridiennes observées dans les biotopes favorables qui peuvent constituer des lieux de ponte.

Distribution des traitements contre les solitaires

Durant la période de rémission, une superficie globale de 25.281 ha a été traitée au niveau des trois wilayas de Tamanrasset, Illizi et Adrar. Les traitements les plus importants (fig. 48) ont été enregistrés dans la Wilaya Tamanrasset (10.512 Ha) suivi par d'Illizi (5.392 ha) et Adrar (3.377 ha).

Durant les périodes de remissions aucun traitement n'a été réalisé dans la partie Sud-Ouest du Sahara algérien représentée par les Wilayas de Bechar et Tindouf (fig. 49).

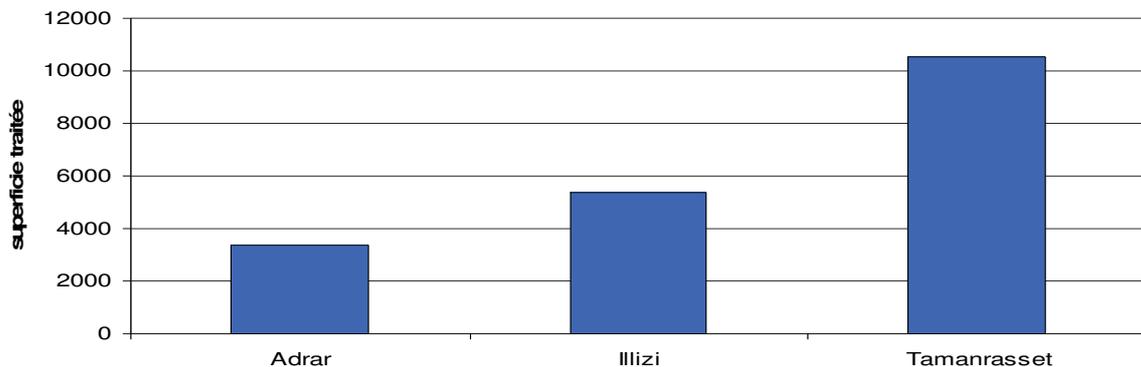


Figure 48 :Traitements réalisés durant les périodes de rémission.

Présence de larves solitaires

Les larves solitaires ont été signalées au niveau des wilayas sahariennes situées au sud du 30 parallèle Nord. Il s'agit des wilayas de Tamanrasset, d'Adrar, d'Illizi, de Béchar et de Tindouf.

Les signalisations les plus représentatives ont été observées dans les wilayas de Tamanrasset, d'Adrar et d'Illizi. Les wilayas de Béchar et de Tindouf ont été concernées par un nombre limité de signalisations.

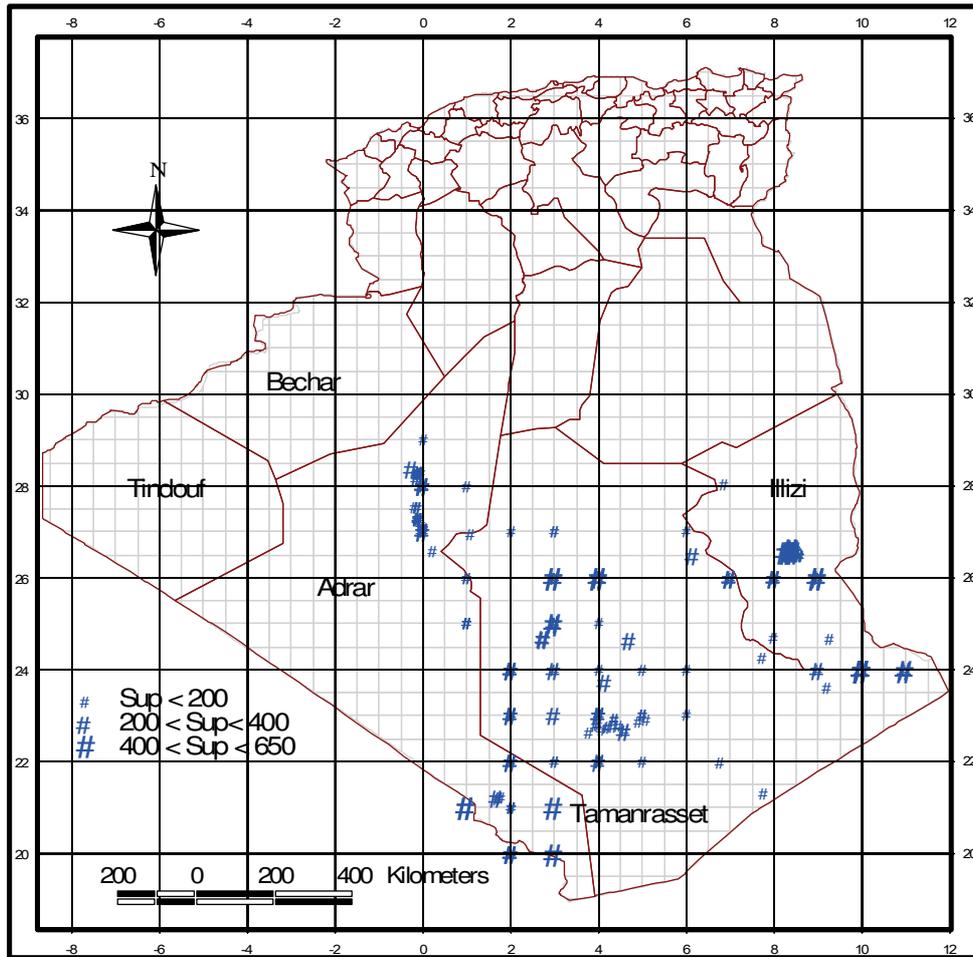


Figure 49 :Répartition de traitements réalisés durant les périodes de rémission.

3.1.2.2.3: Carte globale des zones de reproduction observées et potentielles des solitaires

La délimitation globale des zones observées et potentielles de reproduction des solitaires a été réalisée par quart de degré carré, pour la même période, sur la base de croisement et la superposition des trois informations observées sur les femelles solitaires en position de ponte, les signalisations des larves solitaires et la répartition des traitements contre les populations solitaires. La classification des quarts de degrés carrés a été répartie en deux classes :

- classe 1 : les quarts de degrés carrés qui renferment deux observations différentes ;
- classe 2 : les quarts de degrés carrés qui renferment trois observations différentes.

Cette classification montre qu'un nombre total de 84 quarts de degrés carrés a abrité deux ou trois évènements.

La répartition des quarts de degrés carrés par classe est comme suit (fig. 50 et 51) :

Classe 1 : 58 quarts de degrés carrés abritant deux observations ;

Classe 2 : 27 quarts de degrés carrés abritant deux observations.

La classe 1 a intéressé les wilayas de Tamanrasset (30), Illizi (13), Adrar (11) et Béchar (4).

La classe2 a intéressé les wilayas de Tamanrasset (19), Illizi (3), Adrar (5).

Les wilayas de Tamanrasset, d'Adrar et d'Illizi ont abrité les deux classes en revanche, la wilaya de Béchar a abrité uniquement la classe1.

La wilaya de Tamanrasset a abrité le nombre le plus élevé de quarts de degrés carrés appartenant aux deux classes (fig. 50). En effet, cette wilaya abrite 49 quarts de degrés carrés, représentant plus de 58% de nombre total.

La superficie globale occupée par les quarts de degrés carrés concernés par la reproduction des solitaires a été évaluée à 231.000 hm². La classe1 représente 162.250 km² et la classe2 68.750 km².

Cette nouvelle classification représente 11,55 % de la superficie globale de l'habitat du criquet pèlerin en Algérie en phase solitaire.

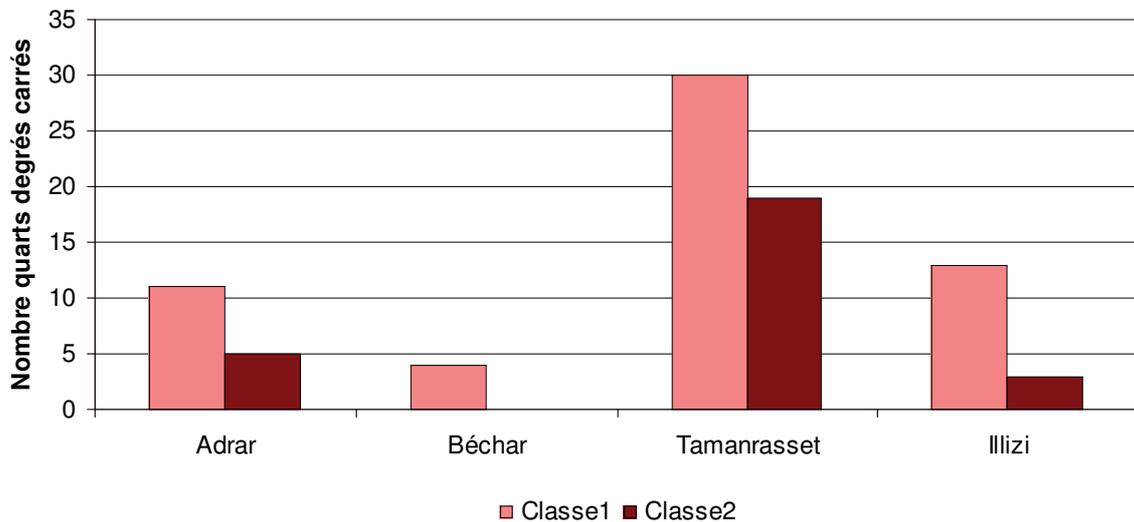


Figure 50 :Nombre de quarts de degrés carrés par classe et par wilaya.

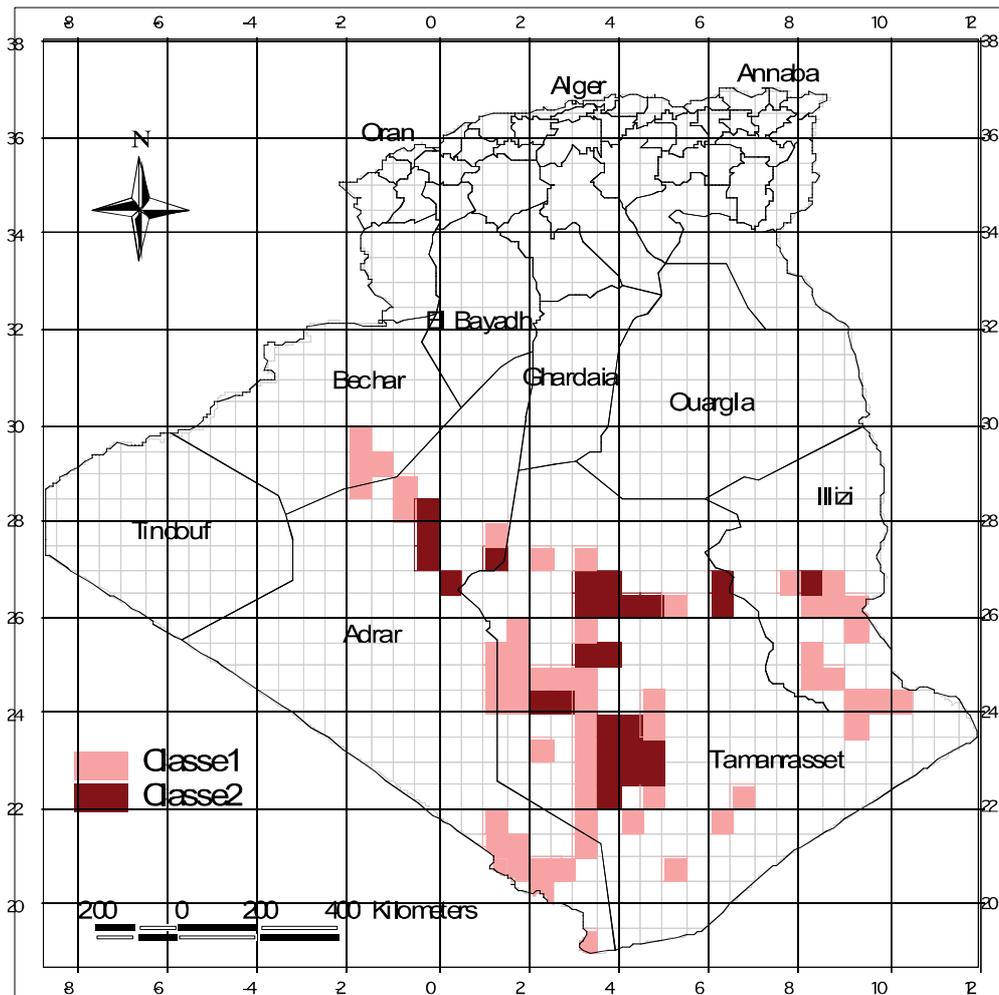


Figure 51 : Carte globale des zones de reproductions observées.

3.1.2.3: Délimitation des zones de ponte des femelles transiens

3.1.2.3.1: Délimitation des zones de reproduction observées des transiens

Positionnement des femelles transiens en cours de ponte

Le positionnement des femelles transiens observées en cours de ponte a concerné les années dominées par les transiens (1968, 1980, 1994, 1995, 1996).

En périodes de recrudescence, les wilayas de Béchar, Adrar, El Bayadh, Tindouf, Tamanrasset, Illizi et Ghardaïa ont abrité des reproductions des femelles transiens (fig. 52).

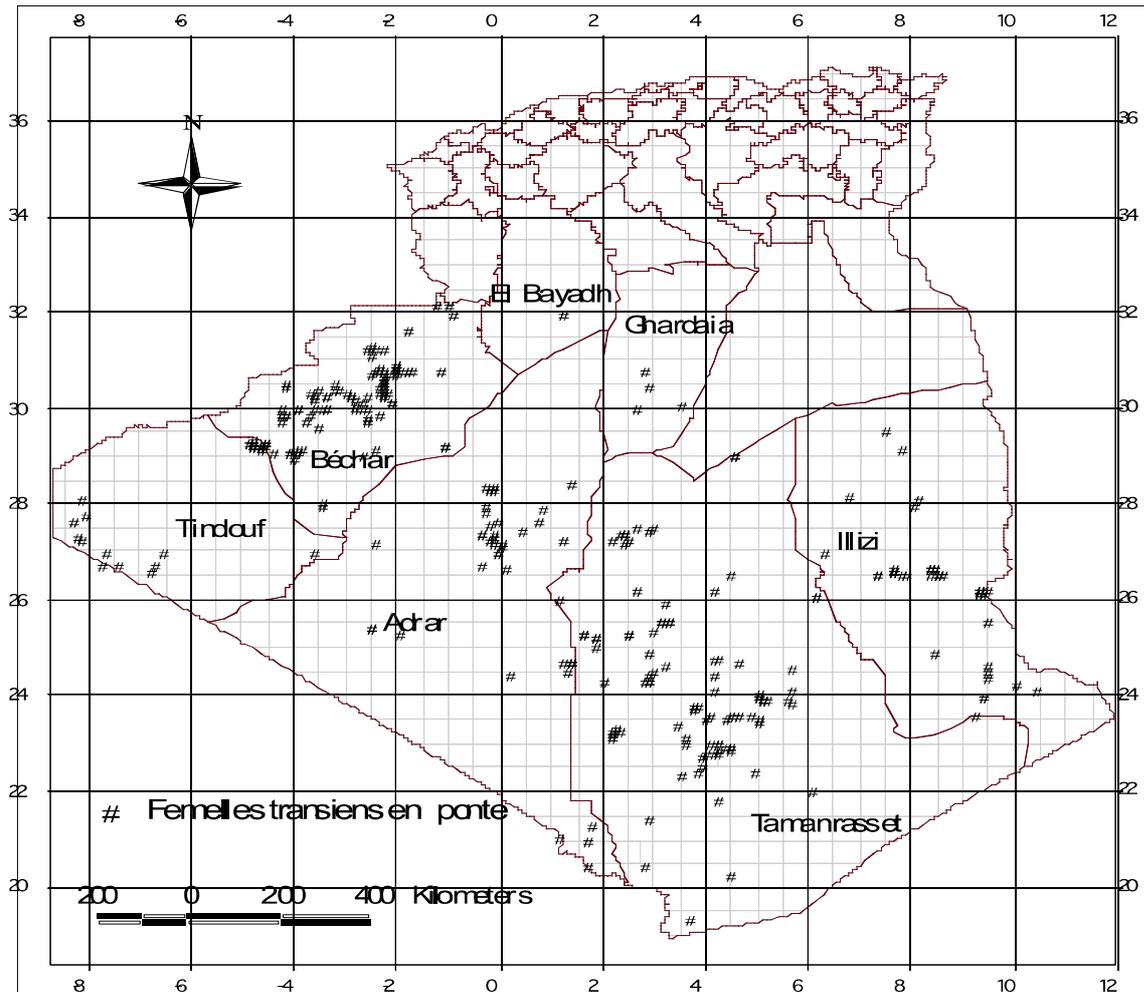


Figure 52 :Positionnement des femelles transiens en positions de ponte.

Classification des zones de reproduction des transiens

Les femelles transiens en positions de ponte ont été prélevées des enregistrements des années de recrudescence. Nous avons dénombré 5 années (1968, 1980, 1994, 1995, 1996) de recrudescence dominées par les transiens pour la période 1965-2008. Un total de 375 observations sur 5 années a été représenté sur carte.

Le positionnement des femelles transiens en ponte montre que les reproductions ont concerné la partie sud de la 32^{ième} parallèle nord. En effet, toutes les régions du sud algérien situées dans cette zone ont été concernées par la reproduction des transiens (fig. 53). Les fortes concentrations ont été observées dans la partie sud-ouest frontalière avec le Maroc et la Mauritanie et dans la partie centrale du Sahara algérien.

Comme pour les solitaires, la classification des zones de reproduction des transiens dans le Sud algérien a été réalisée sur la base de la fréquence annuelle des femelles en reproduction à l'échelle de quart de degré carré. Aussi, cette classification a concerné les cinq années de recrudescence qu'a connu l'Algérie durant la période 1965 et 2008.

Les quarts de degrés carrés qui ont abrité une seule reproduction sur les 5 années possibles ont été écartés. Le classement a concerné uniquement les quarts de degrés carrés qui ont abrité plus de 2 reproductions.

En raison de faibles années de recrudescence dominées par les transiens, une seule classe a été retenue.

La répartition des signalisations des femelles transiens en position de ponte par quart de degré carré montre qu'un total de 81 quarts de degrés carrés a été concerné par la reproduction du criquet pèlerin en Algérie (fig. 53). Les 81 quarts de degrés carrés totalisent une superficie équivalente à 222.750 km².

Répartition des classes au niveau du sud algérien

Les 81 quarts de degrés carrés qui ont abrité les femelles transiens en position de ponte recensés ont concerné les zones sahariennes situées au Sud du 32^{ème} parallèle Nord (fig. 54). En effet, la reproduction a été localisée au niveau de Tamanrasset (32), Béchar (16), Tindouf (6), Adrar (9), Illizi (15), El Bayadh (2) et Ghardaia (2).

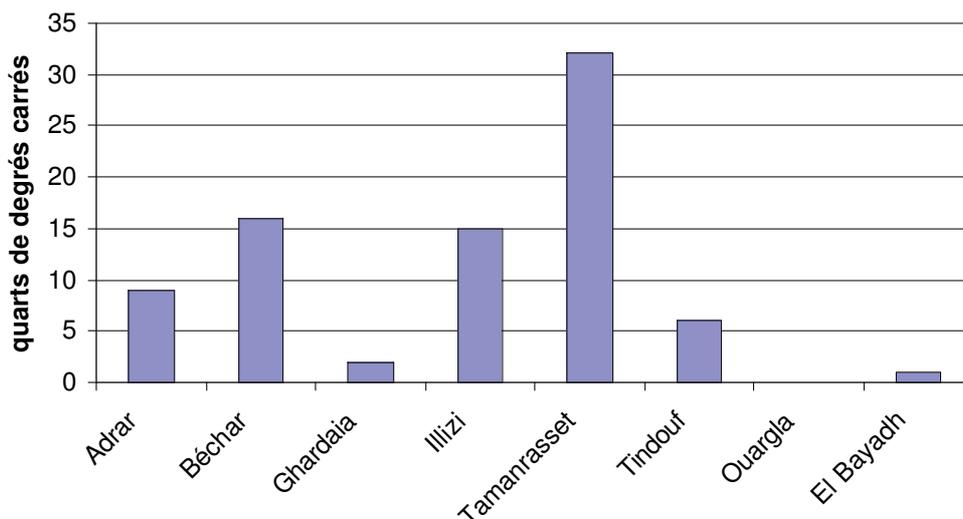


Figure 53 : Nombre de quarts de degrés carrés abritant les femelles transiens en ponte par wilaya.

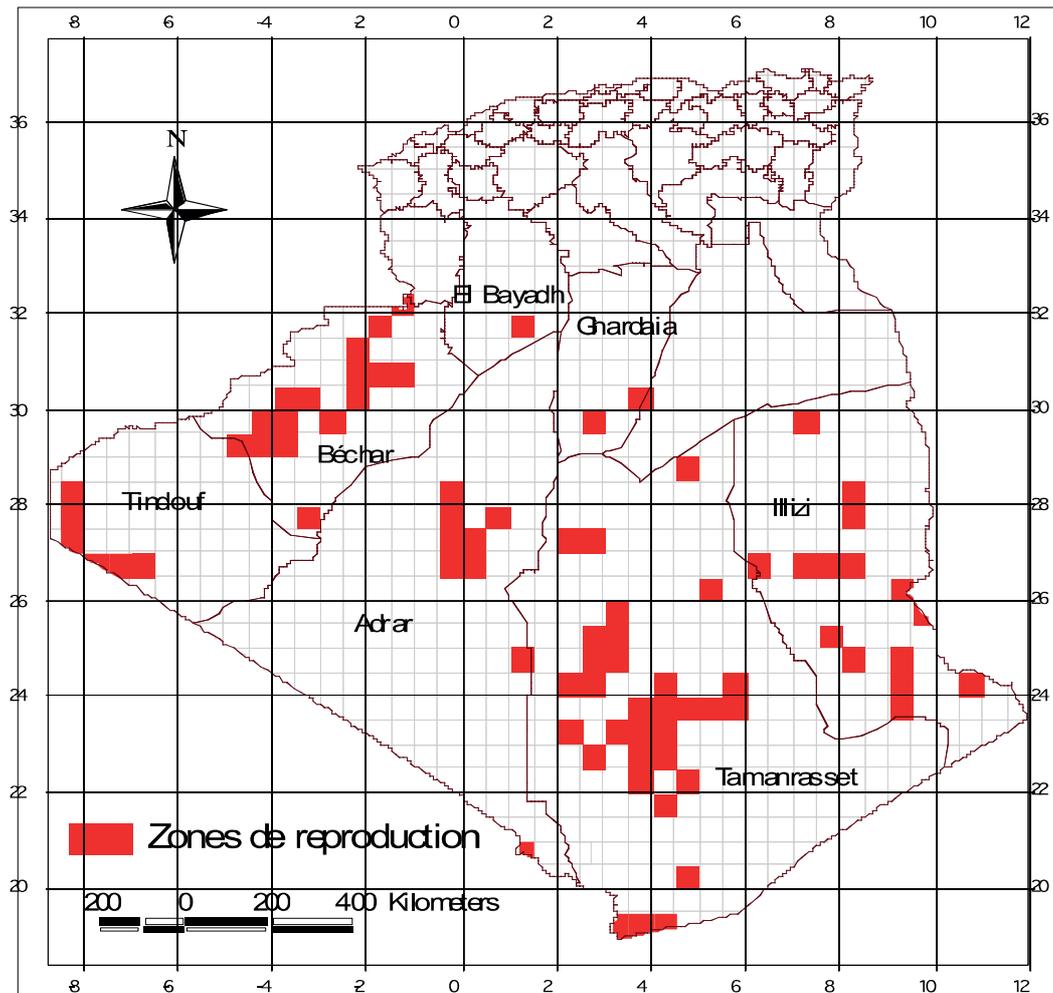


Figure 54 : Zones de reproduction des femelles transiens par quart degré carré.

3.1.2.3.2: Délimitation des zones de reproduction potentielles des transiens

Distribution des traitements contre les transiens

Les traitements contre les transiens ont coïncidé avec les années marquées par les recrudescences acridiennes 1968, 1980, 1994, 1995, 1996. Durant ces années, une superficie globale de 154.109 ha a été traitée dans les wilayate de Tamanrasset (95.223 ha), Illizi (11.436,5 ha), Adrar (14.174 ha), Béchar (15.506 ha) et Tindouf (11.111 ha), Gahardaia (1344 ha), Ouargla (5128 ha) et El Bayadh (186 ha).

La superficie traitée la plus importante a été enregistrée dans la Wilaya de Tamanrasset répartie sur plusieurs sites (Fig. 55 et 56).

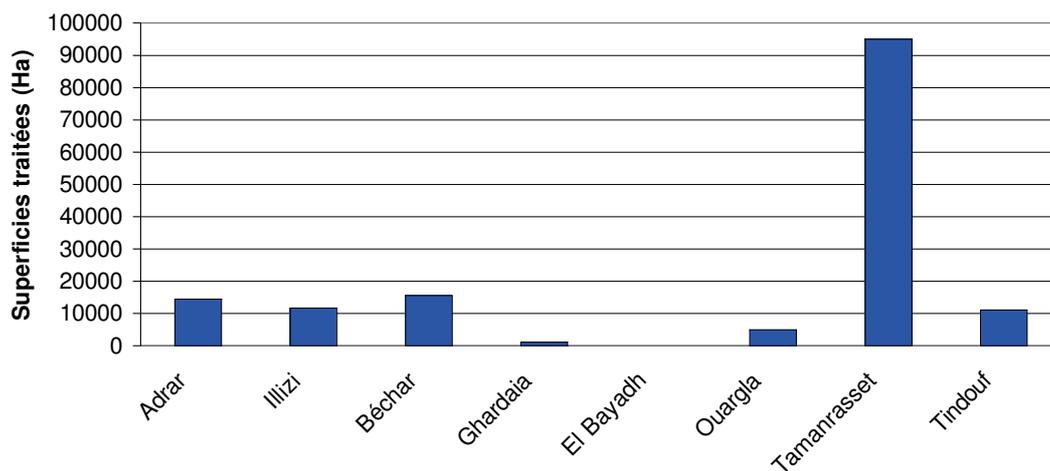


Figure 55 :Superficies traitées par wilaya durant les périodes des recrudescences.

Positionnement des larves transiens

Les larves transiens ont été localisées au niveau de toutes les régions situées au sud de la 32ième parallèle Nord. Les plus fortes concentrations ont été observées au niveau des wilayas de Béchard, Adrar, Tamanrasset et Illizi et à degré moins dans les wilayas de Tindouf et de Ghardaïa (fig. 56).

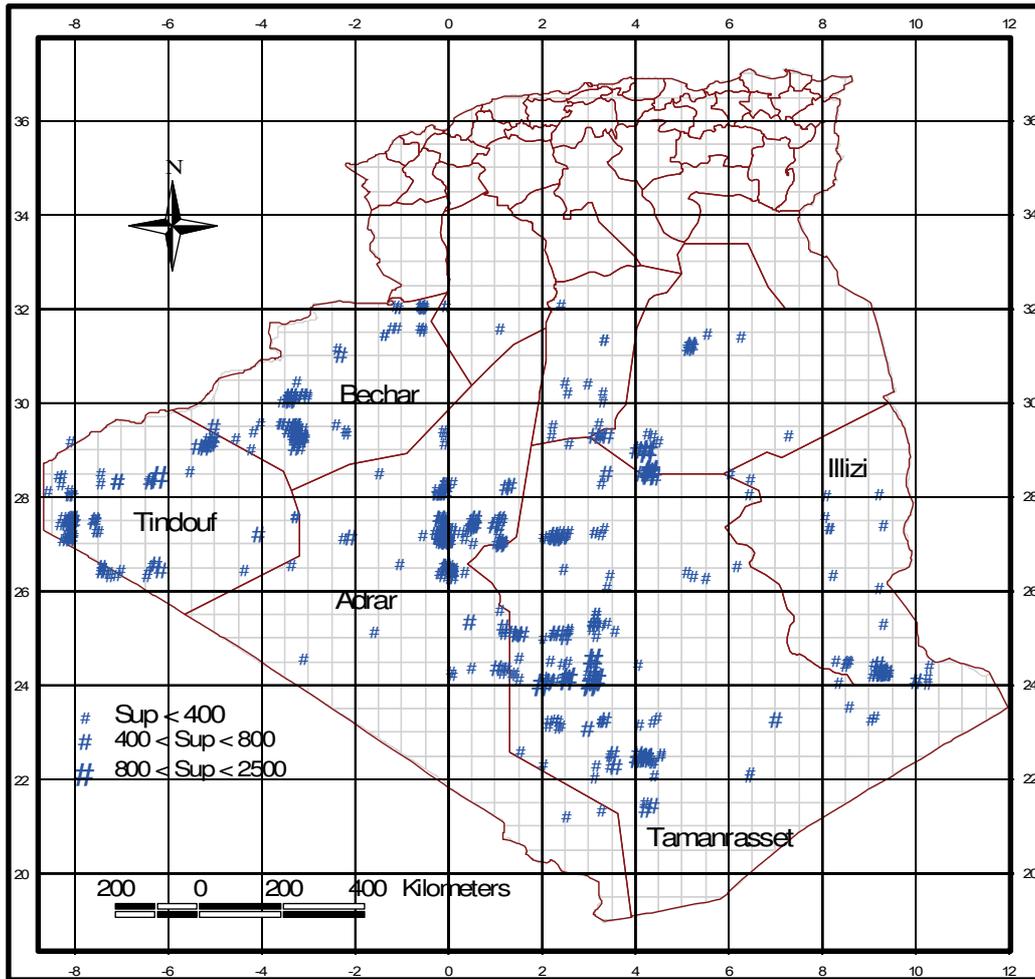


Figure 56 : Traitements réalisés en périodes de recrudescences.

Généralisation des zones observées de reproduction des transiens

Cette classification montre qu'un nombre total de 144 quarts de degrés carrés a abrité deux ou trois évènements. La répartition des quarts de degrés carrés par classe est comme suit (Fig. 57) :

Classe 1 : 94 quarts de degrés carrés abritant deux évènements ;

Classe 2 : 50 quarts de degrés carrés abritant trois évènements

La classe 1 a intéressé les wilayas de Tamanrasset (24 quarts de degrés carrés), Illizi (16), Adrar (13) et Béchar (16), Ouargla (5) et Ghardaïa (7). La classe 2 a intéressé les wilayas de Tamanrasset (23), Illizi (5), Adrar (8), Béchar (11) et Tindouf (3).

La wilaya de Tamanrasset a abrité le nombre le plus élevé de quarts de degrés carrés appartenant aux deux classes (Fig. 57 et 58).

La superficie globale occupée par les quarts de degrés carrés concernés par la reproduction des solitaires a été évaluée à 396.000 hm². La classe1 représente (258.500 km²) et la classe2 (137.500 km²).

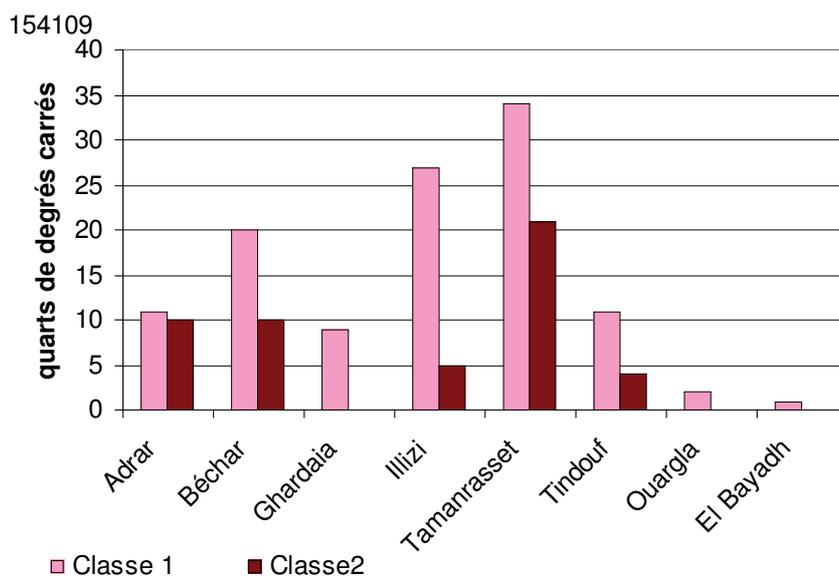


Figure 57 :Nombre de quarts de degrés carrés par classe et par wilaya.

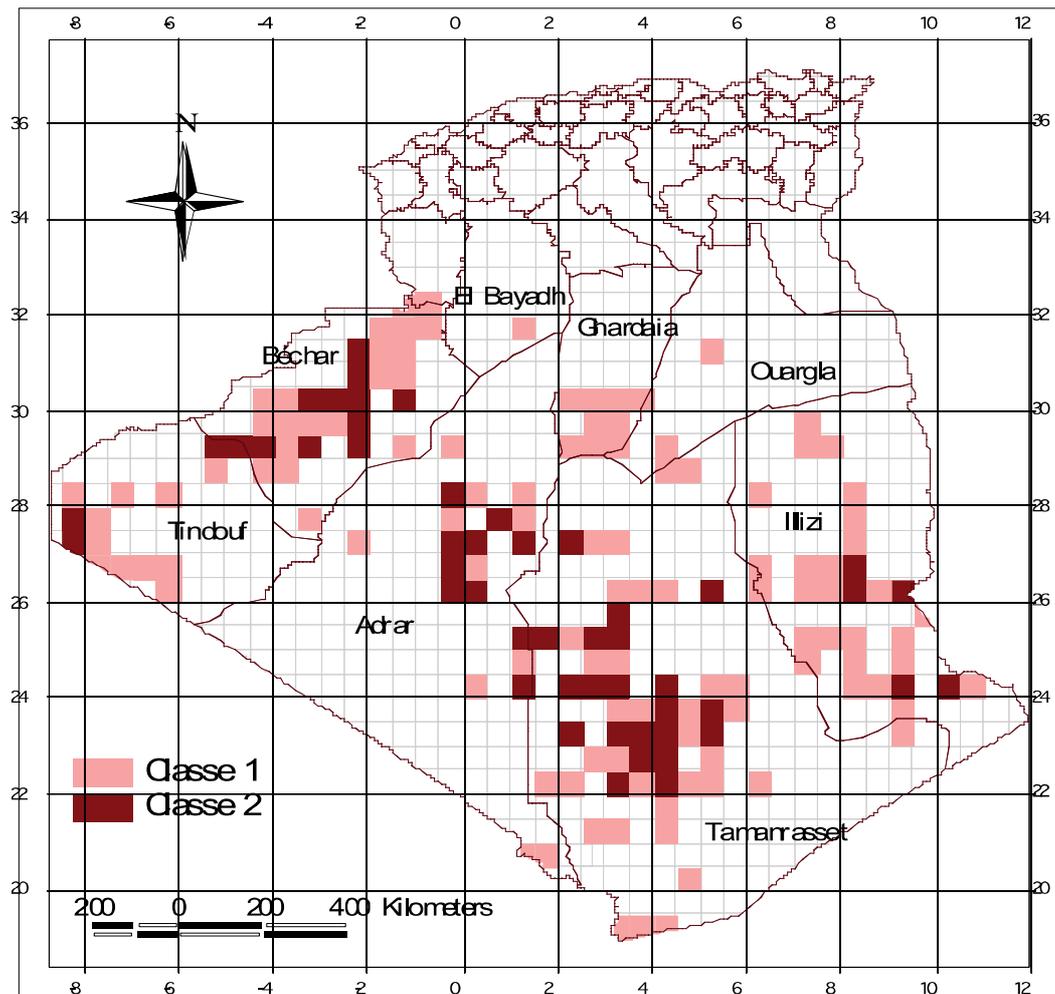


Figure 58 :Zones de reproduction potentielles des transiens.

3.1.3: Caractérisation des zones de ponte des solitaires

3.1.3.1: Positionnement des zones de reproduction

Le positionnement des lieux de pontes en fonction de courbes de niveaux (Fig. 59) montre que les zones choisies par les femelles du Criquet pèlerin pour effectuer les pontes sont généralement situées près des plateaux et de grands sommets.

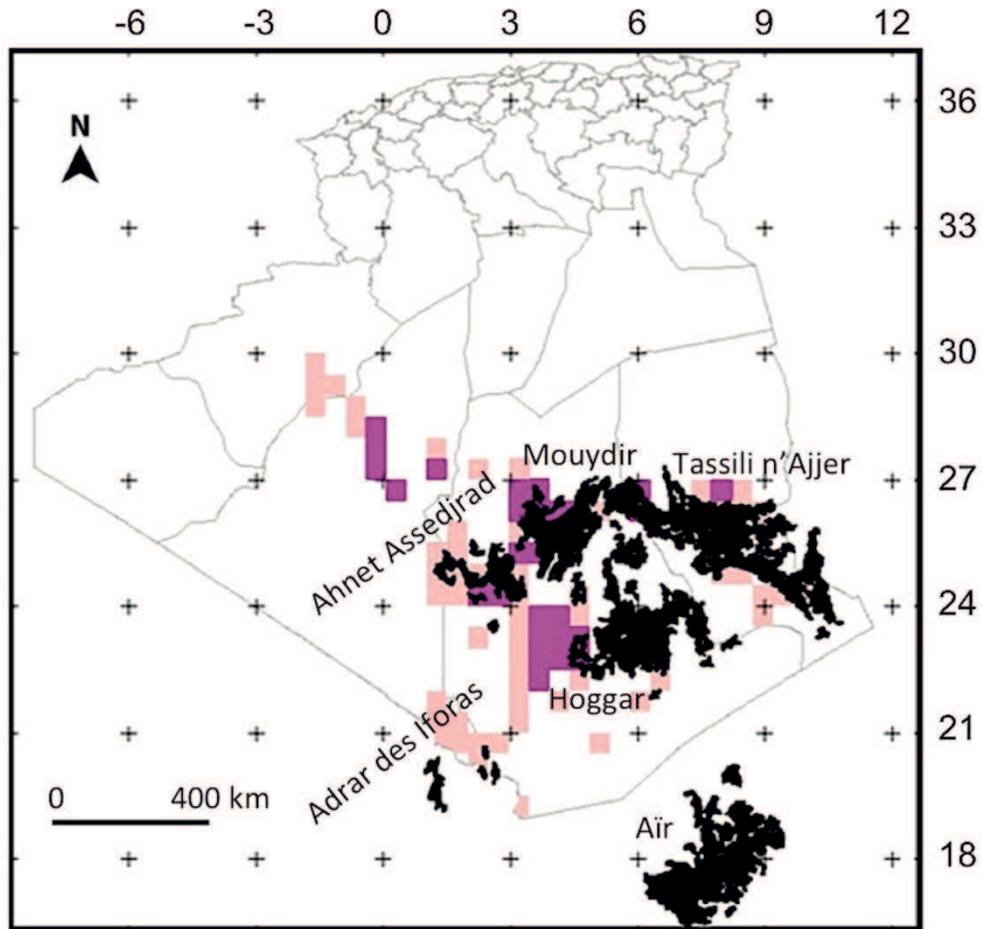


Figure 59 :Positionnement des lieux de ponte par rapport aux massifs montagneux.

Pour des raisons pratiques, les régions renfermant les biotopes de reproduction qui sont situés près et influencés par les reliefs montagneux et les vallées ont été nommées en fonction de l'appellation des ces derniers.

La carte des différents reliefs caractérisant la partie saharienne abritant les biotopes du criquet pèlerin a été réalisée à partir des images Modis par un traitement de couche de densité. Ainsi, six (6) régions ont été identifiées:

- La région du Hoggar
- La région de l'Ahnet et de l'Assedjrad
- La région de la Saoura
- La région du Nord de l'Adrar des Iforas
- La région d'Adrar.

3.1.3.2: Identification des lieux de prédilection pour la ponte

L'objectif principal de ce travail est d'appliquer la télédétection multispectrale à haute résolution afin d'identifier à partir des images satellitaires des informations structurales des lieux de ponte des solitaires. Nous exposons ici les différentes analyses réalisées et décrivant ensuite, région par région, les divers lieux de ponte mis en évidence.

3.1.3.2.1 : L'analyse d'images satellitaires Landsat 7 ETM+ et Modis

L'identification morphologique des lieux de pontes a été réalisée à partir des images Landsat ETM. Les résultats obtenus ont été vérifiés, ajustés et actualisés à l'aide des images Terra Modis et de cartes topographiques.

Les différentes analyses numériques réalisées sur images satellitaires sont tout d'abord une analyse en composante principale qui est une technique efficace pour accentuer une image multispectrale à des fins d'interprétation géologique. Elle permet de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes, hautement corrélées en un nombre restreint de composantes. Parfois l'information comprise dans 5 ou 6 bandes est réduite par cette analyse en seulement 3 composantes. Cette transformation mathématique va générer des nouvelles images, composantes ou axes, qui sont en combinaison linéaire avec les images originales. L'analyse en composantes principales produit ainsi de nouveaux canaux. Ces derniers permettent de créer des compositions colorées qui constituent un excellent produit d'interprétation visuelle, augmentant ainsi le contraste entre les divers objets au sol. (Hammad, 2009 et Bazeille, 2003).

La technique de classification en classes d'équidensité a ensuite été utilisée. C'est une technique de classification qui transforme en plages de couleurs les zonages en niveaux de gris observés sur l'image en bande unique. L'image résultante présente des couleurs représentatives de classes des valeurs pixels. Ce traitement transforme l'image en RVB où les zones à comportement spectral similaire apparaissent dans la même couleur.

Pour circonscrire les Oueds et les zones d'accumulation et d'épandage des eaux nous avons créé une composante principale pour les six bandes de chaque Image Landsat ETM. Ensuite nous avons traité l'ACP choisie par couche de densité (Fig. 60, 61, 62).

Les zones de végétation ont été extraites à partir des images Modis par la même série de traitement (fig. 63, 64, 65).

L'identification des noms des lieux de pont a été faite par la superposition des données issues des informations lithologiques extraites des images Landsat ETM, les zones de végétation extraites des images Modis et les cartes d'état major (Fig. 66).

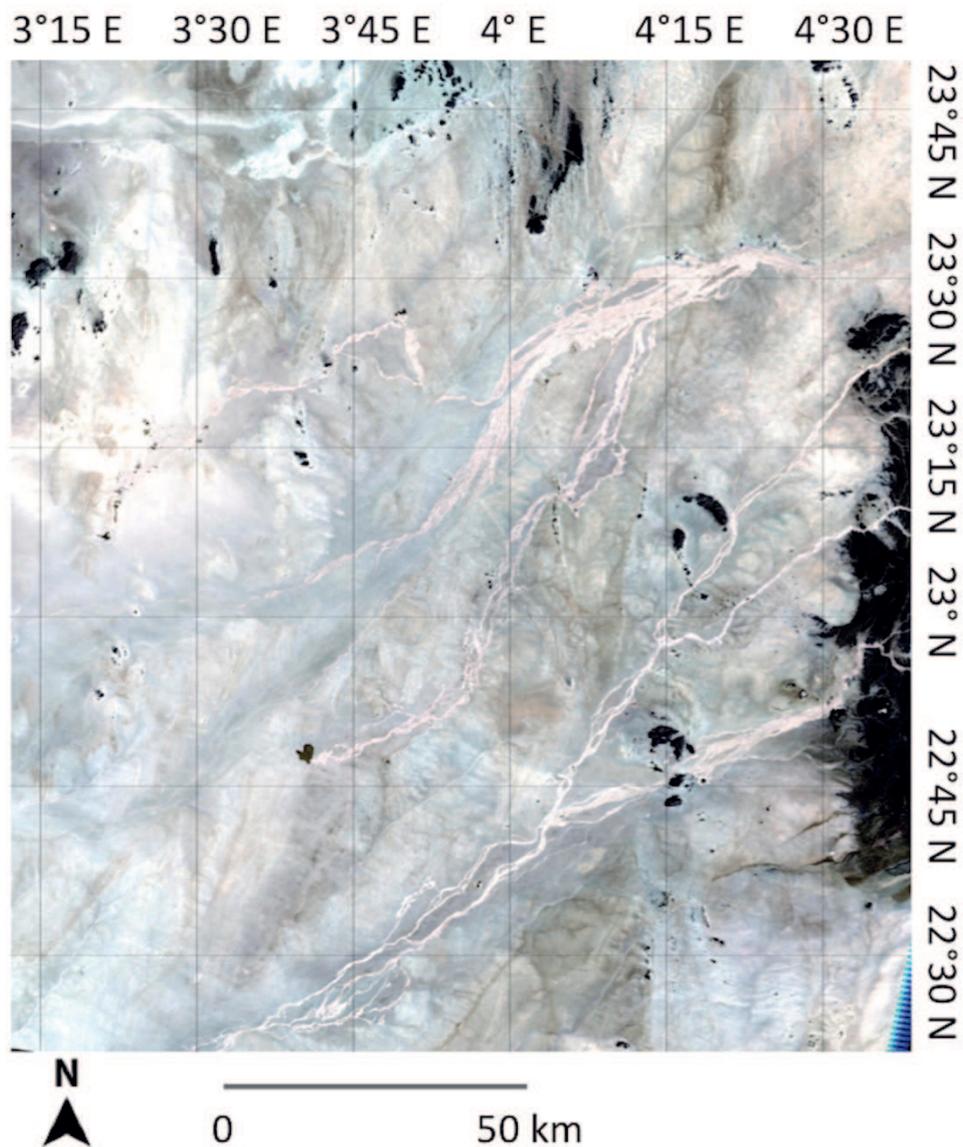


Figure 60 :Image Landsat ETM+ en composition colorée (4,3,2).

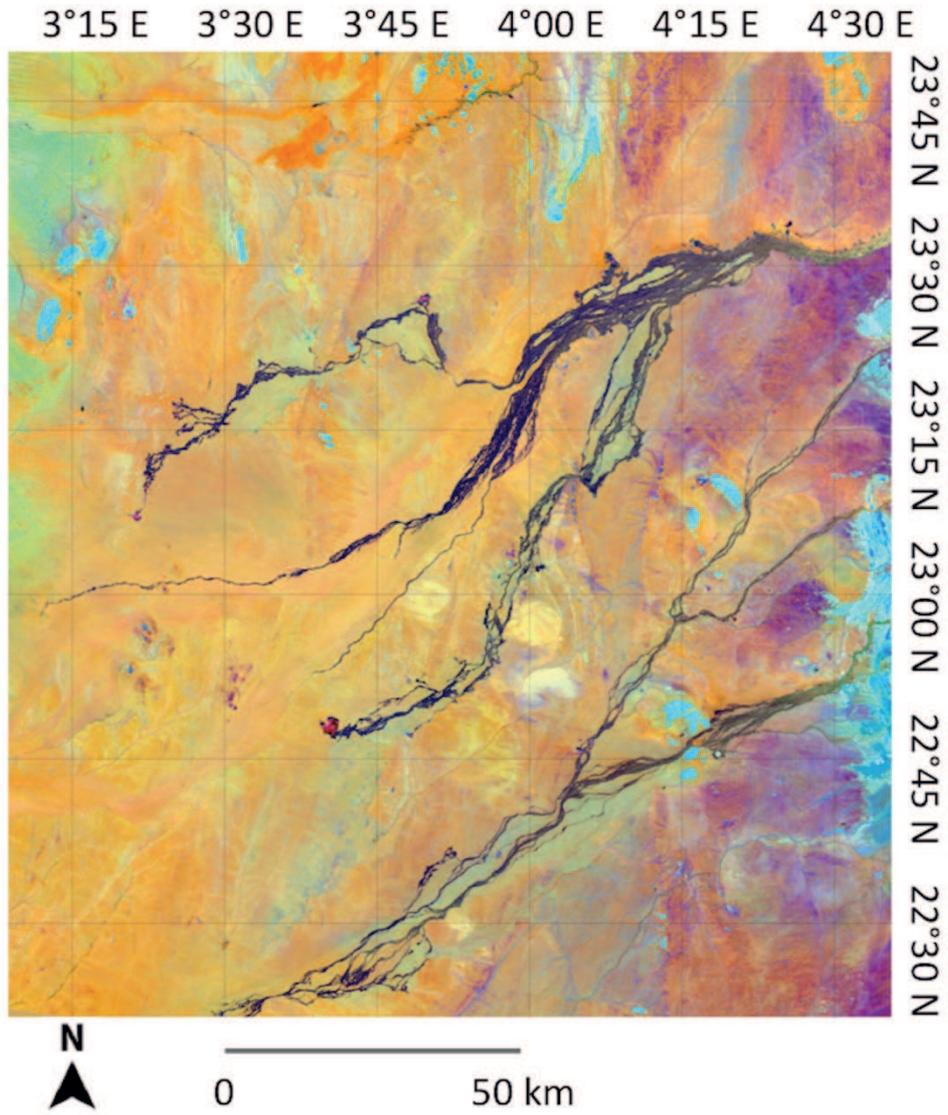


Figure 61 :ACP (6 nouveaux canaux) de l'image Landsat ETM+.

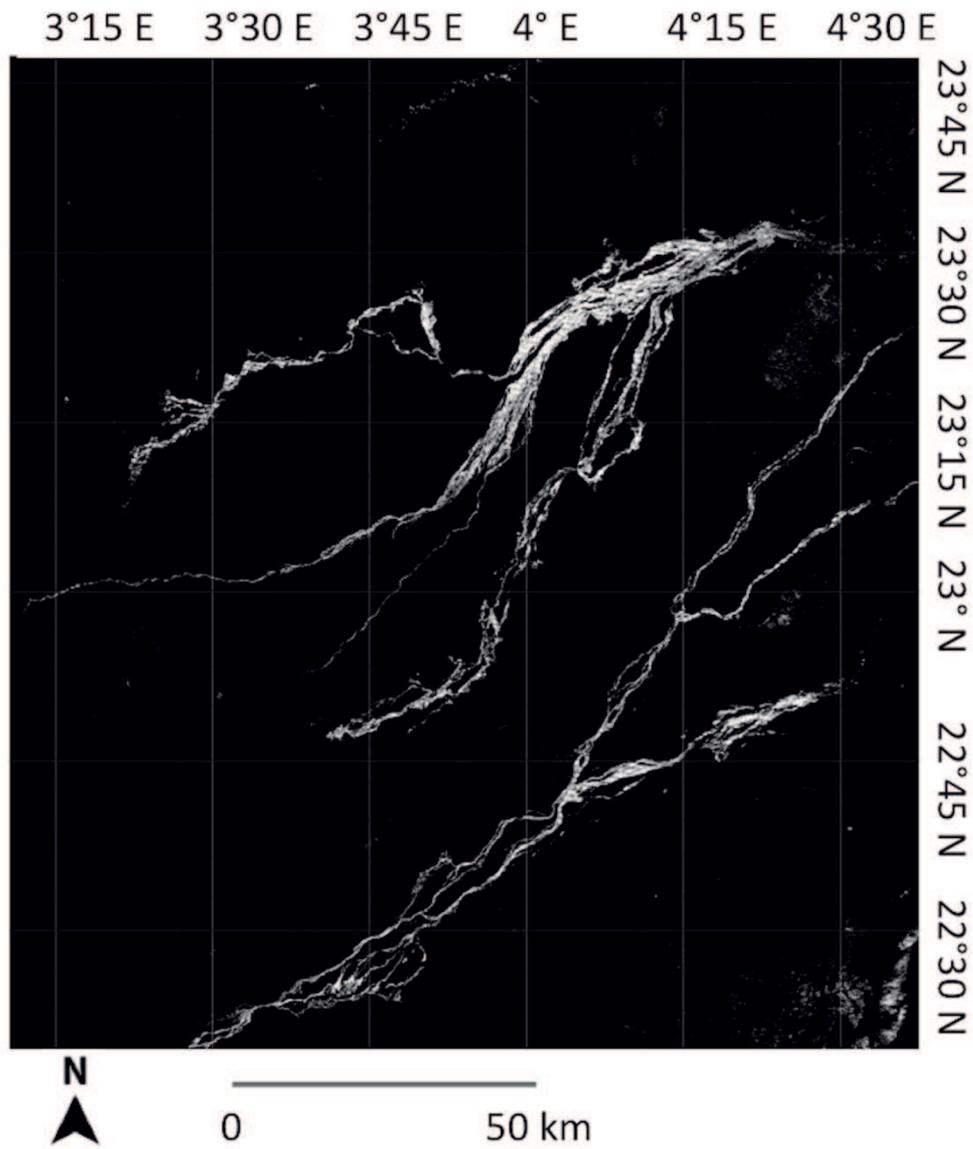


Figure 62 :Equidensité (density slice) de l'ACP 6.

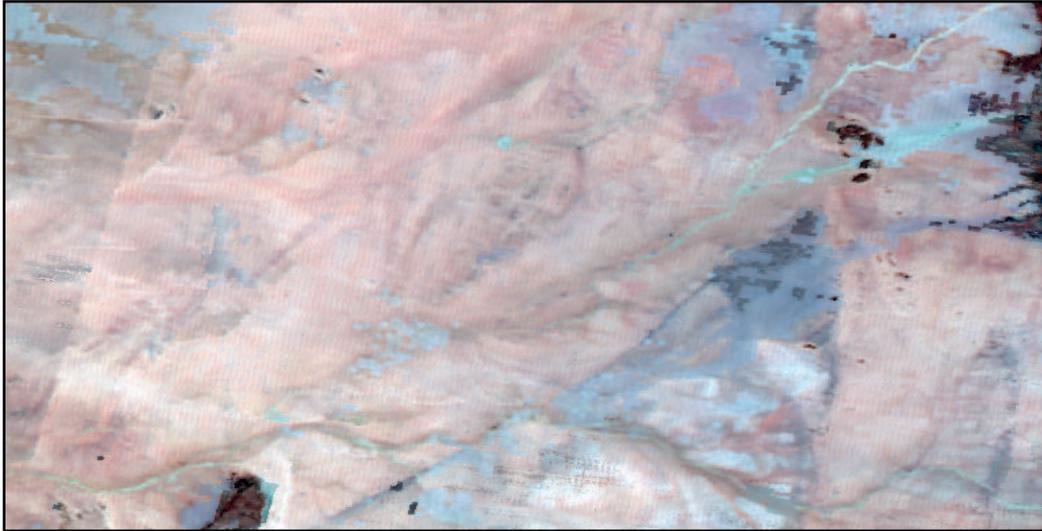


Figure 63 :Composition colorée de l'image Modis (RGB).

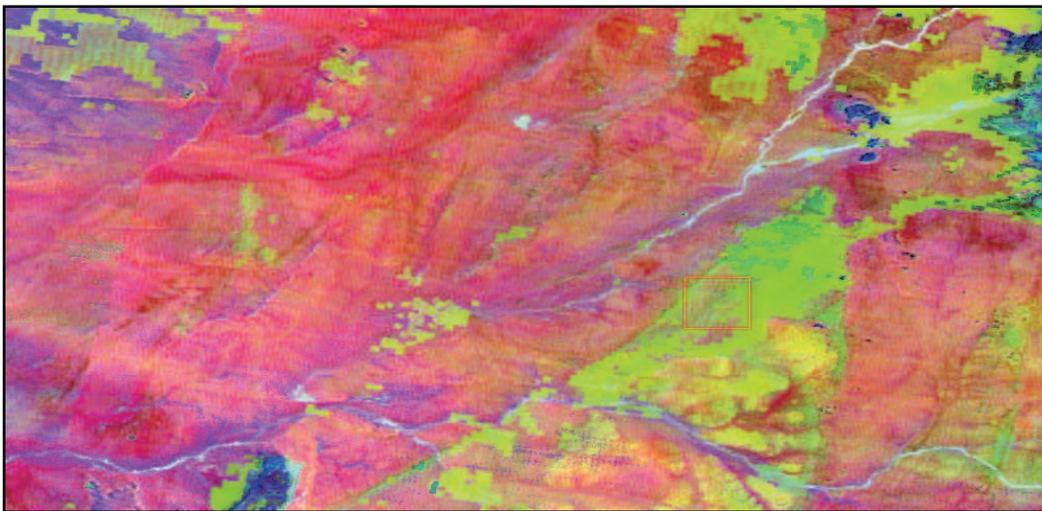


Figure 64 :ACP Image Modis.

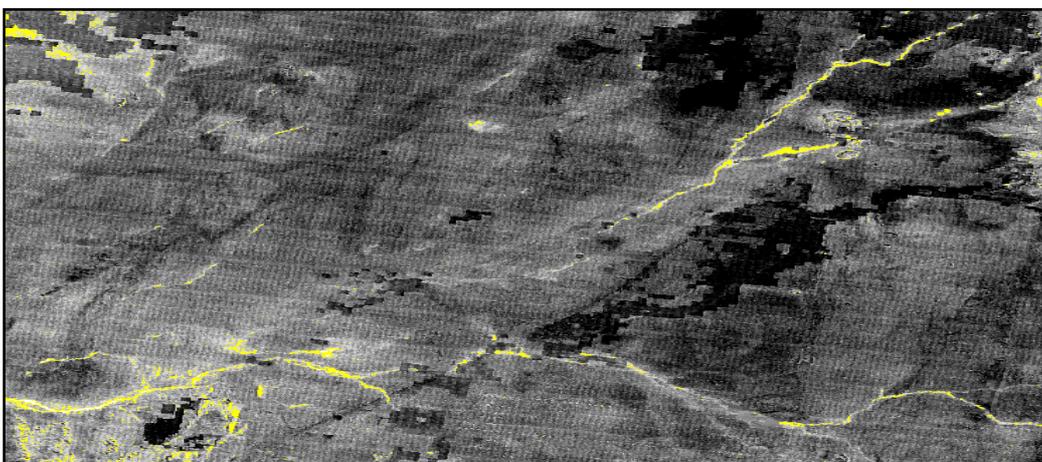


Figure 65 : Density slice ACP3 Image Modis.

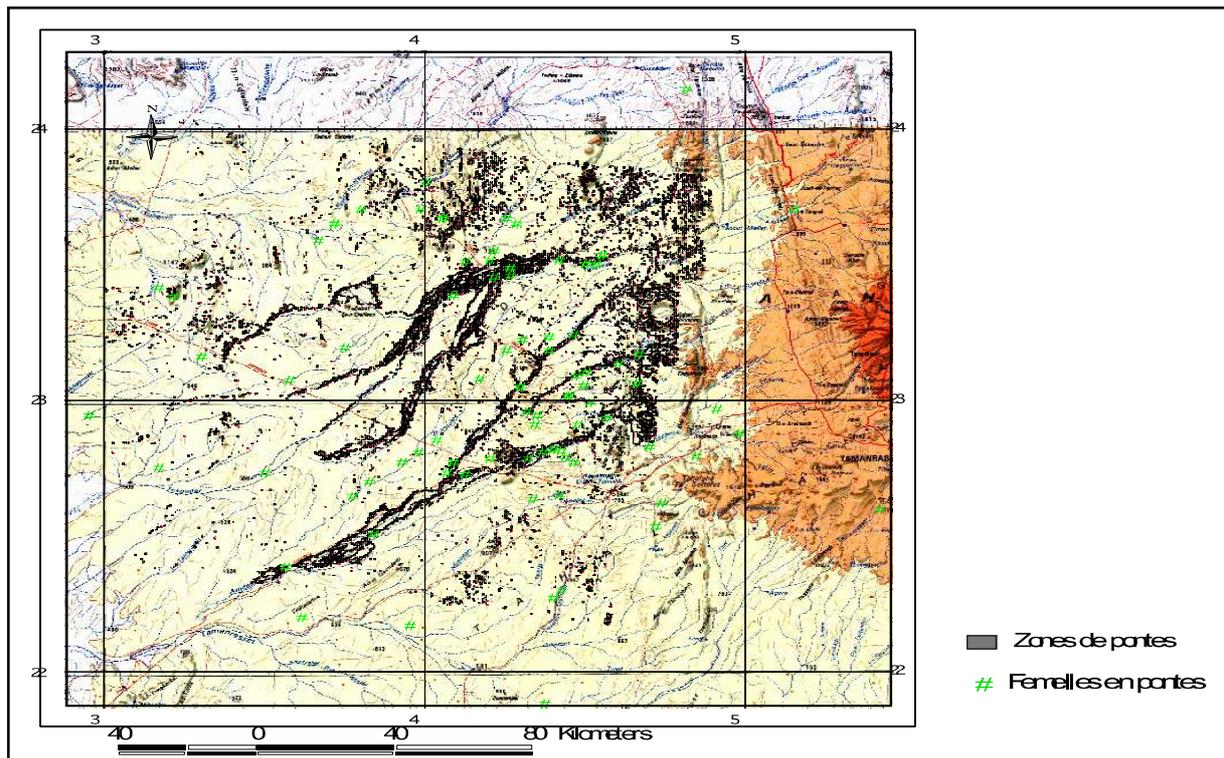


Figure 66 :Positionnement des lieux de pontes potentiels sur carte d'Etat Major.

3.1.3.2.2 : Les lieux de pontes

La caractérisation des lieux de pontes nous a montré que les femelles du criquet pèlerin choisissent comme lieux de pontes les zones de ruissellements et accumulation des eaux favorables au développement de la végétation notamment les oueds. Les lieux de pontes par zone sont décrits ci-après.

La région du Hoggar

La cartographie à partir des images Landsat ETM+ et Modis a montré que les lieux de pontes sont généralement situés dans ou à proximité des Oueds et les zones d'accumulation et d'épandage des eaux (fig. 67).

Les Oueds et zones d'accumulation et d'épandage des pluies identifiés dans la zone du Hoggar sont:

- les Oueds : Oued Amded et affluents, Oued Tamarasset et affluents, Oued Tikouiat et affluents, Oued Téghahart et affluents, Oued Adjelman et affluents, Oued Tekhammalt et affluents

- les zones d'accumulation et d'épandage : zone de Tin Alous, zone de Tin Hallene , zone d'Aguelman, zone de Tin Deher, zone d'In Ziza.

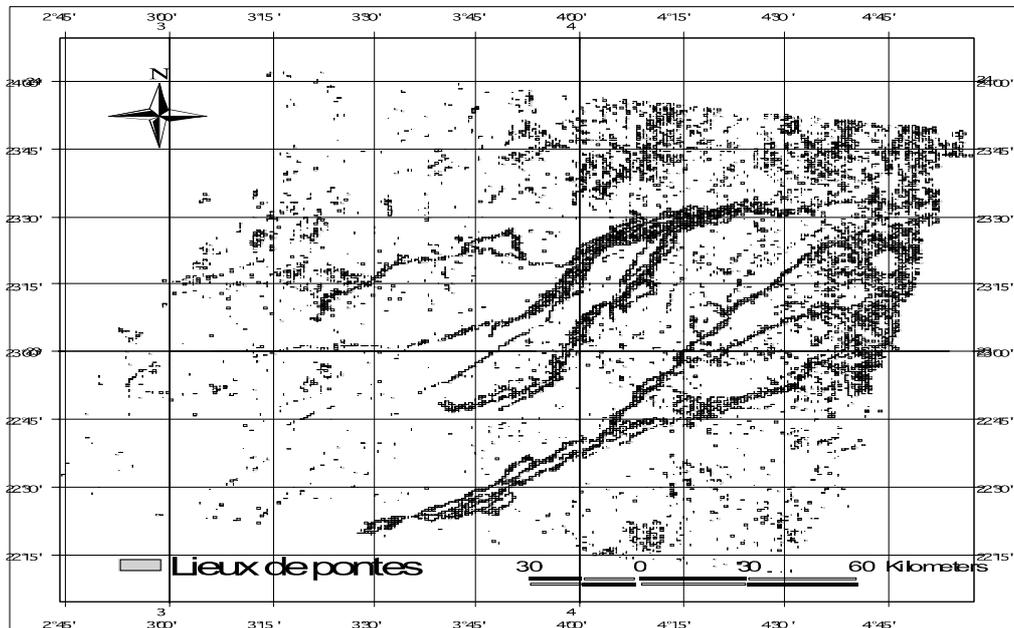


Figure 67 :Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région du Hoggar.

Les régions d'Adrar et de Béchar

La cartographie des biotopes de reproduction des solitaires au niveau des régions d'Adrar et de Béchar a montré que dans les régions d'Adrar, les lieux de pontes sont situés généralement près des zones des cultures, les périmètres irrigués, les Oueds et les zones d'accumulation (fig. 68).

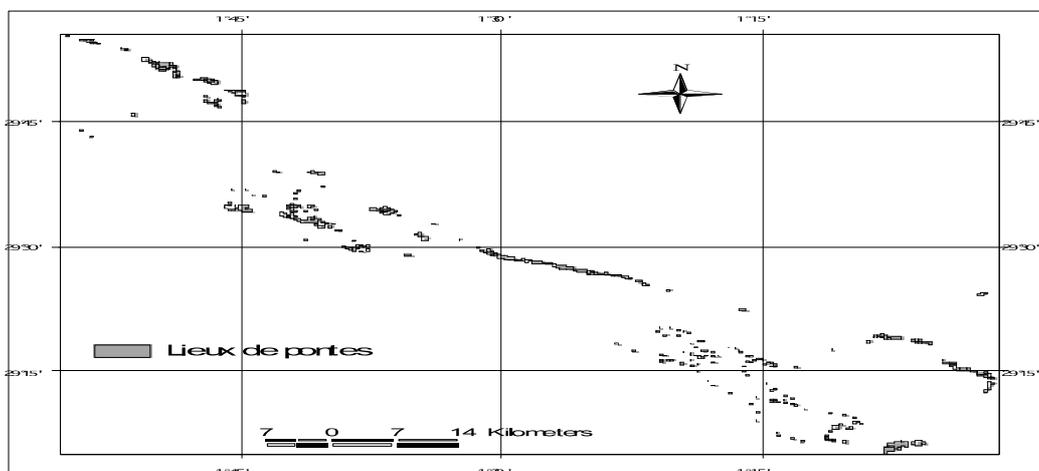


Figure 68 :Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région de Béchar.

Au niveau de la région de Béchar, les zones de ponte des solitaires ont été localisées uniquement dans la partie Sud de l'Oued Saoura.

La région de l'extrême Sud

La cartographie des biotopes de reproduction des solitaires au niveau des frontières algériennes avec le Mali et le Niger a montré que les lieux de ponte sont situés généralement dans les Oueds et les zones d'accumulation et d'épandage suivant (fig. 69) : Oued Djoudene et affluents, Oued Tadjeraout et affluents, Oued In Ouzzal et affluents, Oued Taouandart et affluents, Oued Igheliane et affluents, zone d'in Ouzzal, zone d'in Tourhaoune, zone d'anou Guerzeguet.

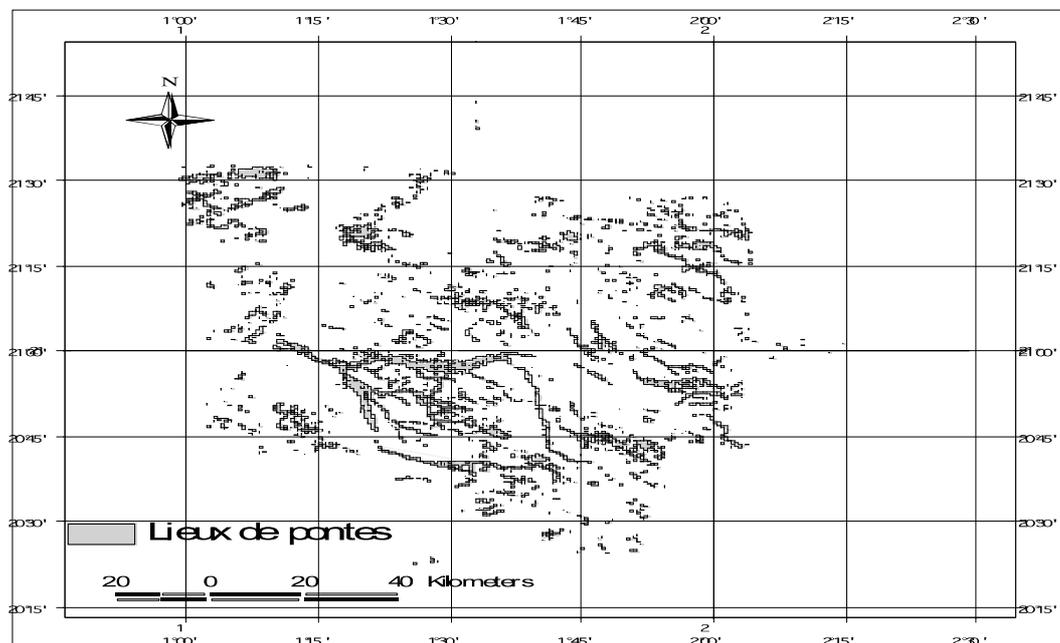


Figure 69 : Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région de l'extrême Sud.

La région du Mouydir

La zone du Mouydir a été subdivisée en deux sous zones renfermant la deuxième classe ; sous zone1 située à l'Ouest du massif de Mouydir comprise entre 25/25.30 de latitude Nord et 3 /4 de longitude Est, et sous zone2 au Nord-Ouest de même massif comprise entre 26/27 de latitude Nord et 3/5 de longitude Est. La sous zone1 abrite six quarts de degrés carrés (6) pour une superficie de 16.500 km² et la sous zone2 abrite deux quarts de degrés carrés pour une superficie de 5.500 km².

Les lieux de pontes sont généralement situés dans ou à proximité des Oueds. Les Oueds qui ont abrité les reproductions des solitaires dans cette région sont : Oued Assouf Mellene et des affluents, Oued Amdja, Oued Téssa-n- Aguedid, Oued Meredoua, Oued El Ouetia, Oued Adjam, Oued Amassine, Oued Ahtes, Oued Anghârene, Oued Tibarâdine, Oued Tajemout, Oued Igharghar et affluents, Oued Djerdjir et Dâyet Djerdjir, Oued Bou Lerçâc , Oued Sidi Moussa, Oued Abadegha et affluents, Oued El Botha et affluent, Oued El Bahadi, Oued Brahim, Oued Aguemour, Oued Er Rouich et affluents, Oued Massine et affluents, Oued El Malah.

La zone d'Amguid comprise 26/27 de latitude Nord et 6/6.30 de longitude Est, est située à l'Est du Mouydir est renferme deux quarts de degrés carrés appartenant à la deuxième classe pour une superficie de 5.500 km

Les Oueds qui ont abrité les reproductions des solitaires dans cette région sont : Oued In Dekak, Oued Tifernine, Oued Tahihaout , Oued Amâssine (Fig. 70).

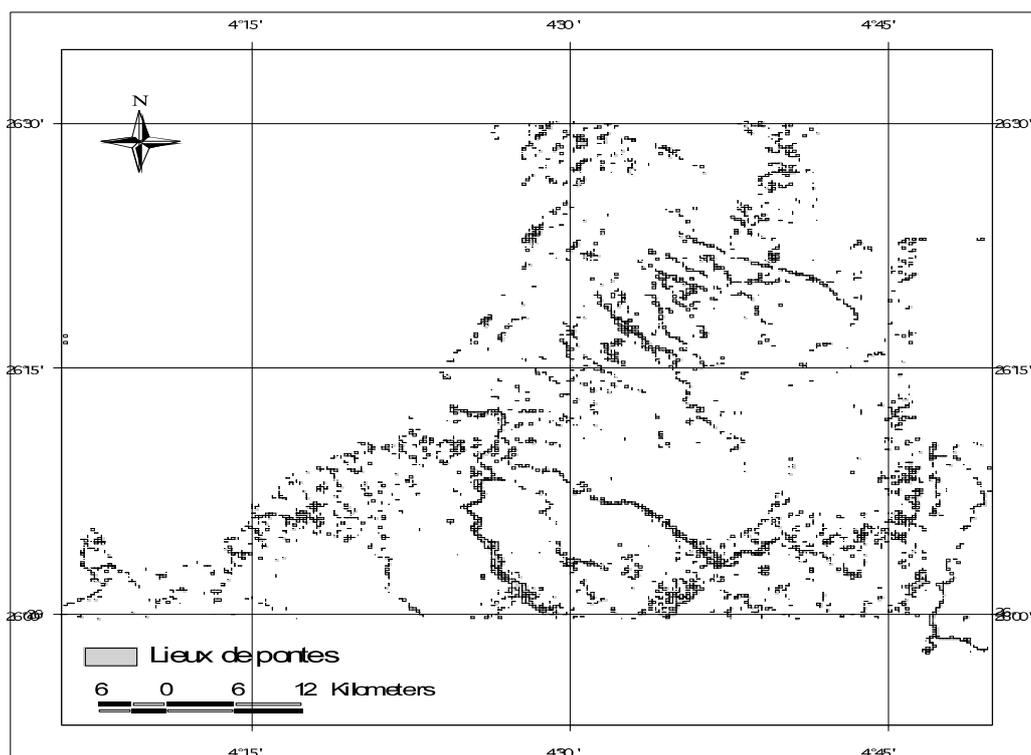


Figure 70 :Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région du Mouydir.

La région d'Ilizi

La cartographie à partir des images Landsat ETM+ a montré que les lieux de ponte sont généralement situés dans ou à proximité des Oueds. Les Oueds qui ont abrité les reproductions des solitaires dans cette région sont : Oued Illizi et ses affluents, Oued Souf Mellene , Oued Djaret, Oued Tadjerdjer , Oued Ouret, Oued Imirhou , Oued Tekhammat, Oued Akfarie, Oued Azi (Fig. 71).

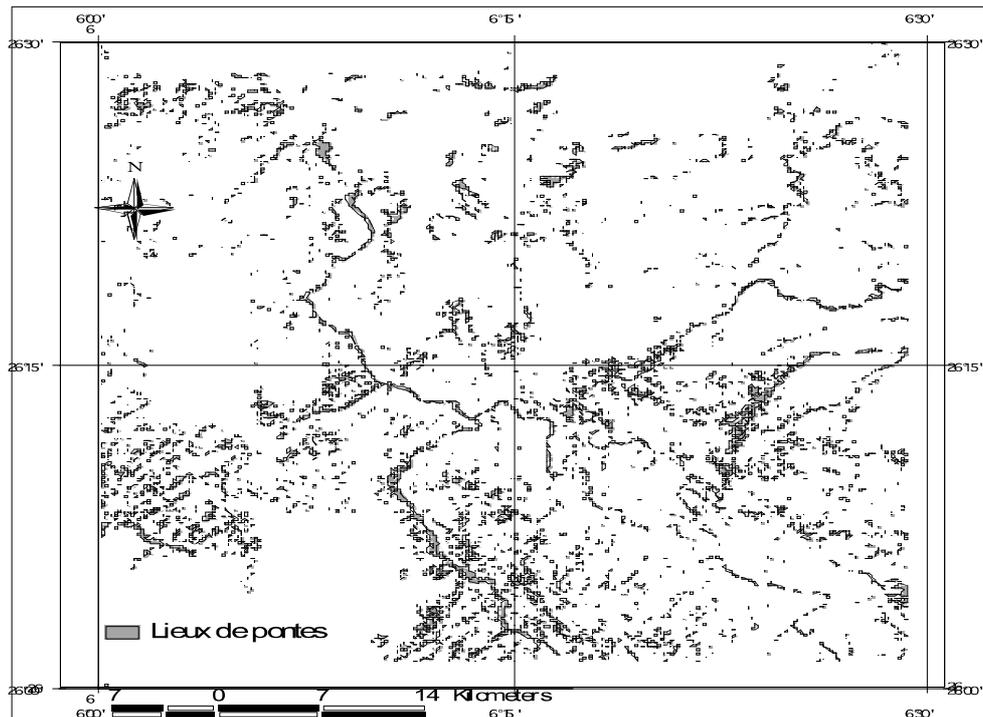


Figure 71 :Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région d'Ilizi.

La région de l'Ahnet

La zone de l'Ahnet et Assedjrad couvre les quarts de degrés carrés appartenant à la deuxième classe des régions comprises entre 24/24.30 de latitude Nord et 2/3 de longitude Est. Cette zone renferme deux quarts de degrés carrés s'étend sur 5.500 km².

Les lieux de ponte sont généralement situés dans ou à proximité des Oueds. Les Oueds qui ont abrité les reproductions des solitaires dans cette région sont : Oued Amassine, ses affluents et ses zones d'accumulation et d'épandage, Oued Aguedid ses affluents et ses zones d'accumulation et d'épandage, Oued Assouf Mellene et des affluents, Oued Amdja, Oued

Téssa-n- Aguedid , Oued Meredoua, Oued El Ouetia, Oued Adjam , Oued Ahtes , Oued Anghârene , Oued Tibarâdine, Oued Tajemout (fig. 72).

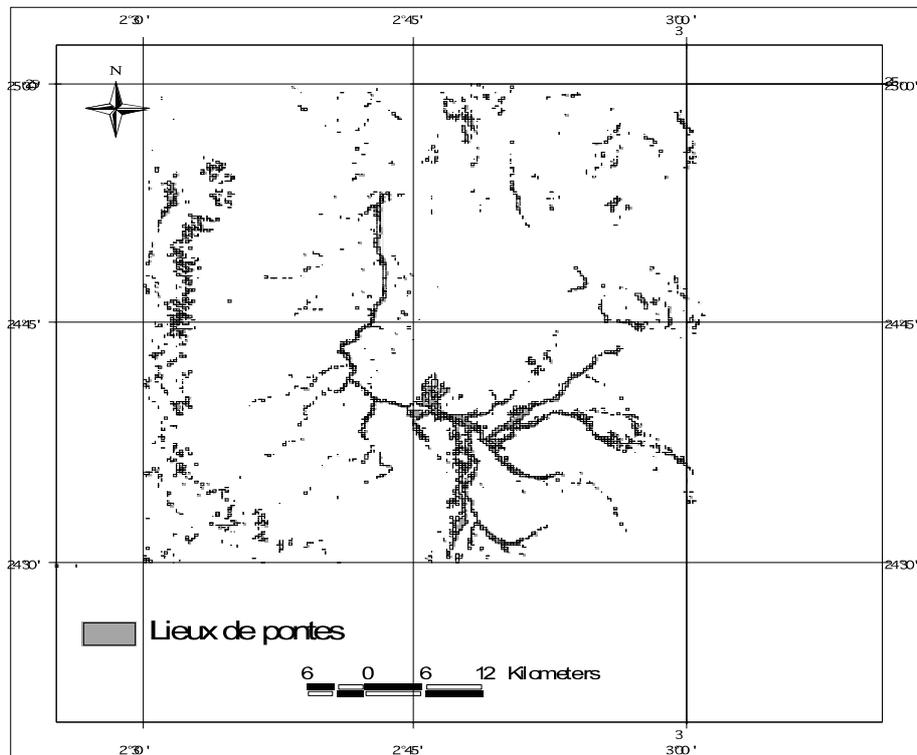


Figure 72 :Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région de l'Ahnet.

La région d'Adrar

Au niveau de la région d'Adrar, la quasi-totalité des lieux de pontes ont pris la forme d'un cercle. Cette forme montre clairement que lieux de pontes au niveau de cette région sont situés au niveau des périmètres irrigués (fig. 73).

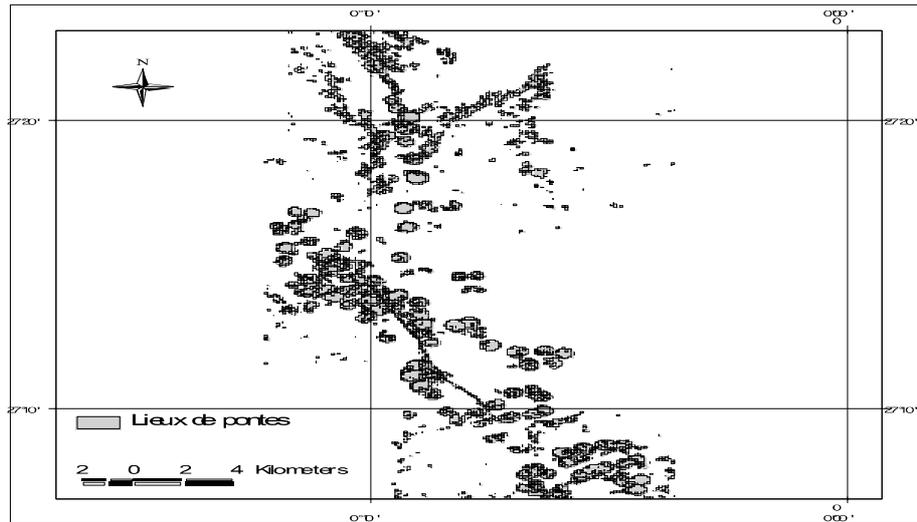


Figure 73 :Les lieux de pontes du criquet pèlerin dans la région d'Adrar.

3.2: Dynamique des populations du criquet pèlerin au niveau de ses zones de reproduction

Pour faire ressortir les périodes de reproduction des solitaires et des transiens et les mois de fortes présences des ailés matures et immatures pour les solitaires, les transiens et les grégaires, nous avons réalisé des analyses statistiques sur la base de données acridiennes collectées entre 1965 et 2013.

3.2.1: Périodes de reproduction des solitaires et les transiens

Pour les solitaires, la variation entre les mois par rapport au nombre mensuel des femelles en position de ponte et la fréquence mensuelle est statistiquement significative. Elle est respectivement ($p = 0.029$) et ($p \leq 0.019$).

Pour les transiens, la variation entre les mois par rapport au nombre mensuel des femelles en position de ponte et la fréquence annuelle est statistiquement significative. Elle est respectivement ($p = 0.018$) et ($p = 0.023$).

L'analyse réalisée sur le nombre mensuel et la fréquence mensuelle a montré que les femelles solitaires et transiens réalisent principalement les pontes durant la période printanière courant les mois mars et avril pour les solitaires et les transiens (Tableau 4) et (fig. 74).

Tableau 4 : Résultats de l'analyse de la variation temporelle de la reproduction des femelles.

Stades	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l	Carrés moyens	F-ratio	P
Pontes solitaires	Nombre total	40.487	11	3.681	2.204	0.019
	Fréquence mensuelle	3.345	11	0.304	2.063	0.029
Pontes transiens	Nombre total	1090.853	11	99.168	2.417	0.018
	Fréquence mensuelle	3.180	11	0.289	2.320	0.023

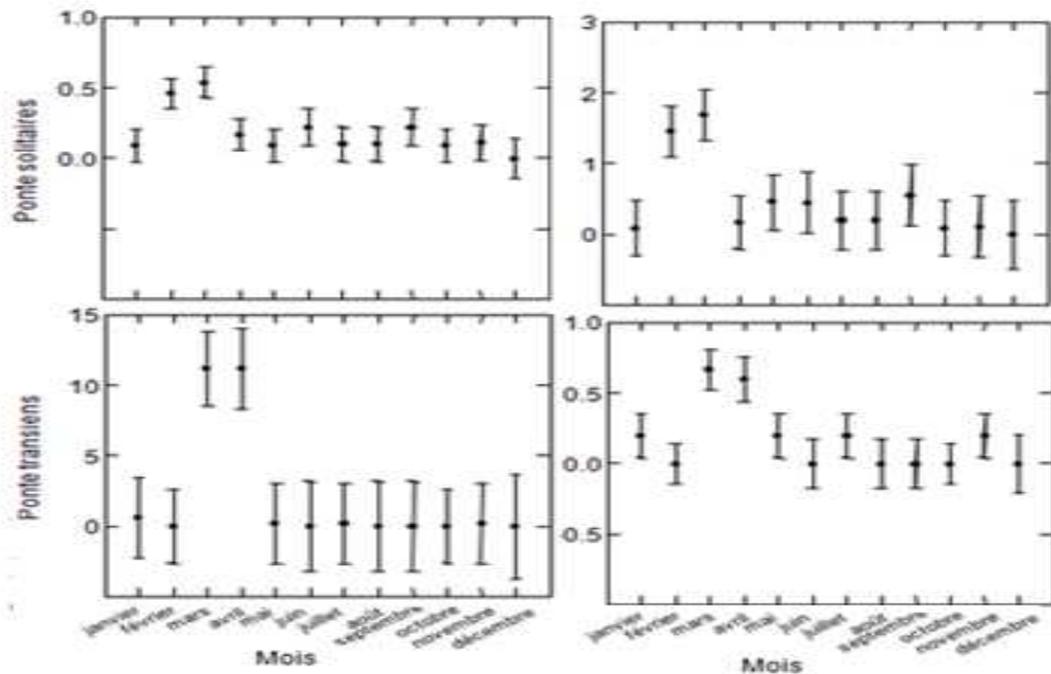


Figure 74 : Les mois de reproduction des solitaires et des transiens.

3.2.2: Périodes de la dominance des différents stades

Les mois de la dominance des ailés matures et immatures des solitaires, transiens et les grégaires ont été identifiés en fonction de l'effectif et la fréquence.

3.2.2.1: Les ailés solitaires matures et immatures

Pour les ailés solitaires immatures, la variation entre les mois est uniquement statistiquement significative ($p = 0.045$) par rapport à la fréquence (tableau 5).

Pour les ailés matures, la variation entre les mois par rapport aux effectifs et à la fréquence est statistiquement significative. Elle est respectivement ($p = 0.010$) et ($p = 0.020$).

Les résultats de cette analyse ont montré que les ailés solitaires immatures sont fortement signalés durant les mois de juillet, octobre et novembre et les ailés matures durant les mois de février et mars (fig. 75).

Tableau 5: Résultats de l'analyse de la variation temporelle de la présence ailés solitaires

Mode	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l	Carrés moyens	F-ratio	P
Ailés solitaires immatures	Effectifs	849.788	11	77.253	0.934	0.508
	Fréquence	10.513	11	0.956	1.644	0.045
Ailés solitaires matures	Effectifs	593.763	11	53.978	2.307	0.010
	Fréquence	4.308	11	0.392	1.980	0.030

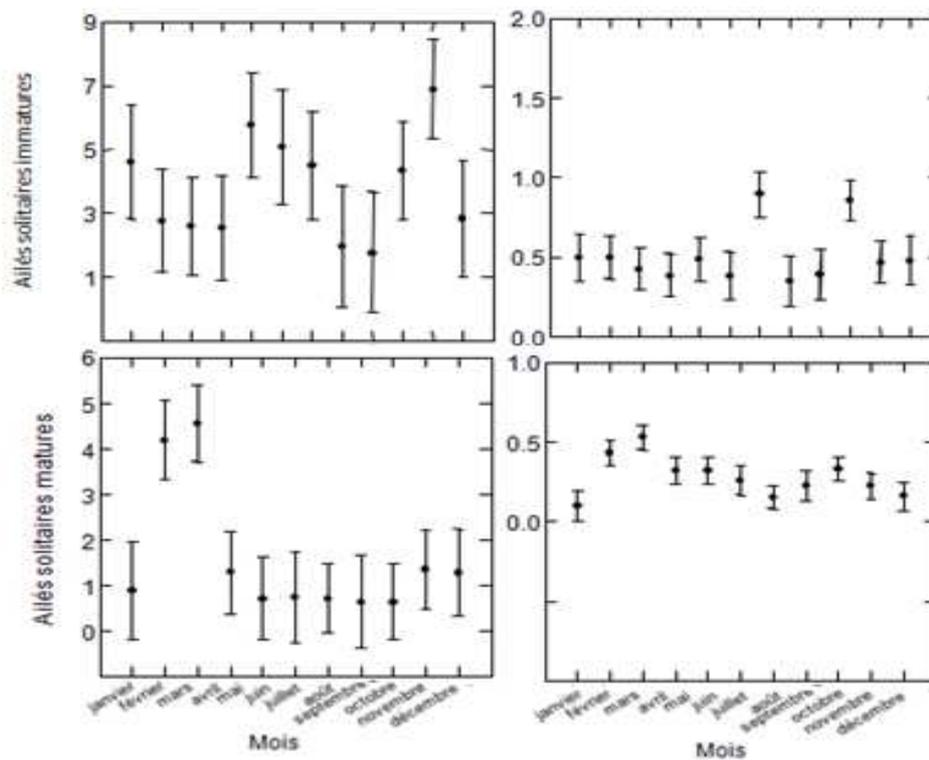


Figure 75 :Les mois de fortes présences des ailés solitaires.

3.2.2.2: Les ailés transiens matures et immature

Pour les ailés transiens immatures, la variation entre les mois est statistiquement hautement significative ($p = 0.002$) et ($p = 0.008$), respectivement pour les effectifs et à la fréquence (tableau 6).

Pour les ailés matures, la variation entre les mois par rapport aux effectifs et à la fréquence est aussi statistiquement hautement significative ($p = 0.003$) et ($p = 0.004$), respectivement pour les effectifs et la fréquence.

Les résultats de cette analyse ont montré que les ailés transiens immatures sont fortement signalés durant les mois de mai, juin et novembre. Les ailés transiens matures sont fortement signalés durant les mois de mars avril (fig. 76).

Tableau 6 : Résultats de l'analyse de la variation temporelle des ailés transiens.

Mode	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l	Carrés moyens	F-ratio	P
Ailés transiens immatures	Effectifs	1899.167	11	172.652	2.775	0.002
	Fréquence	4.695	11	0.427	2.411	0.008
Ailés transiens matures	Effectifs	2084.290	11	189.481	2.667	0.003
	Fréquence	4.882	11	0.444	2.583	0.004

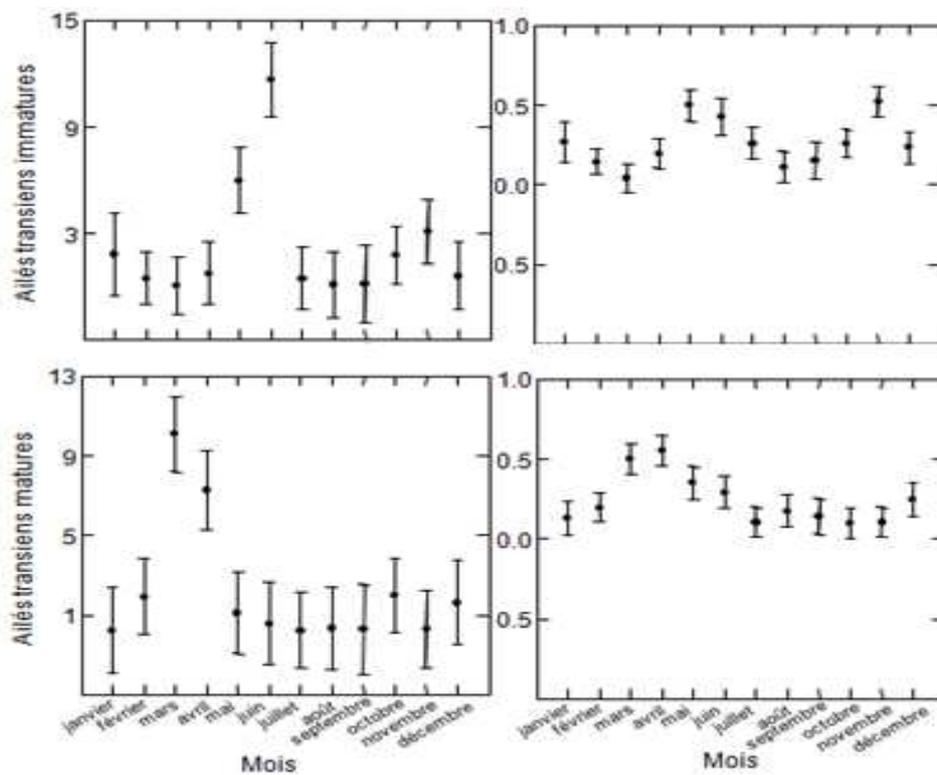


Figure 76 : Mois de forte présence des ailés transiens.

3.2.2.3: Les ailés grégaires matures et immatures

Pour les ailés grégaires immatures, la variation entre les mois est statistiquement significative ($p = 0.018$) et ($p = 0.034$), respectivement aux effectifs et à la fréquence (tableau 7).

Pour les ailés matures, la variation entre les mois est statistiquement significative uniquement pour les effectifs ($p = 0.036$).

Les résultats de cette analyse ont montré que les ailés grégaires immatures sont fortement signalés durant les mois de juillet, octobre et pour les ailés grégaires matures durant les mois de février et mars (fig. 77).

Tableau 7: Résultats de l'analyse de la variation temporelle des ailés grégaires.

Mode	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l	Carrés moyens	F-ratio	P
Ailés grégaires immatures	Effectifs	15313.557	11	1392.142	2.255	0.018
	Fréquence	3.710	11	0.337	2.031	0.034
Ailés grégaires matures	Effectifs	2967.552	11	269.777	2.082	0.036
	Fréquence	3.710	11	0.337	1.849	0.066

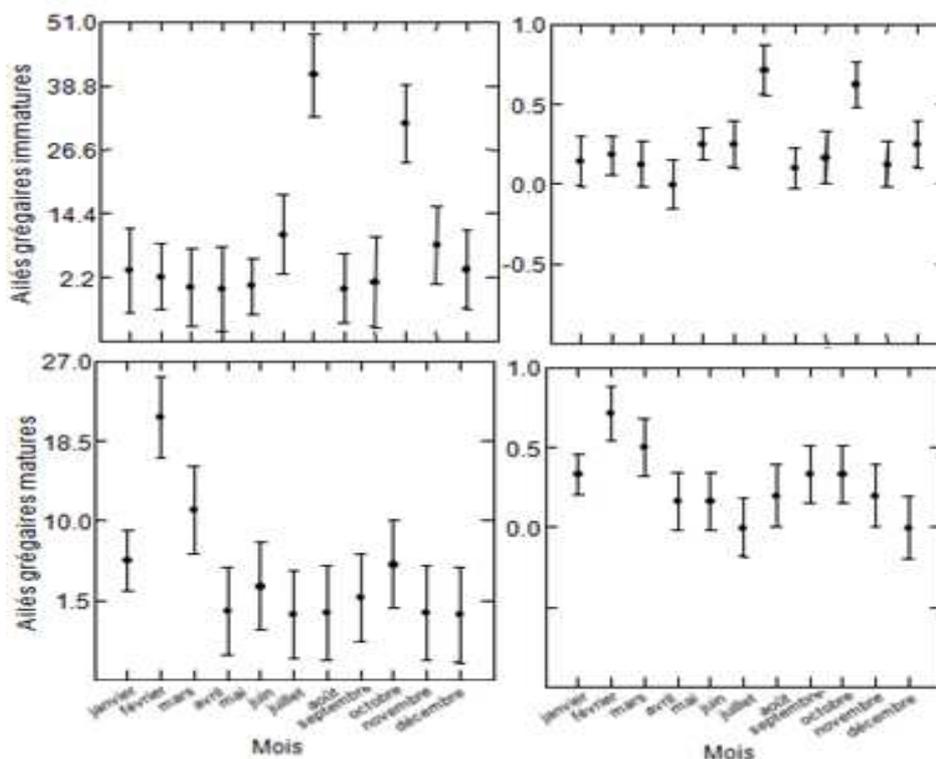


Figure 77: Mois de forte présence des ailés grégaires.

3.2.1.2: Cycles de développement larvaires des solitaires et les transiens

3.2.1.2.1: Les solitaires

Pour la période d'étude allant de 1965 à 2013, les femelles solitaires du criquet pèlerin effectuent une reproduction principale durant la période printanière et deux reproductions secondaires durant les périodes estivales et automnales. Le plus grand nombre de pontes est effectué durant la période printanière. Pour cette période, les premières pontes ont été enregistrées durant la première décade du mois de mars et jusqu'au la deuxième décade du mois d'avril. Aussi, des reproductions de moindre importance sont effectuées en période estivale (2 pontes) durant les mois de juillet, août et en automne (1 ponte) durant les mois de septembre et novembre (fig.78).

Les éclosions et l'appariation du premier stade larvaire solitaires L1 sont observées en grand nombre en période printanière durant la première décade du mois du mois d'avril et s'étalaient jusqu'à la deuxième décade du mois de mai. Aussi, les éclosions et les L1 sont observées en faible nombre en périodes estivale et printanière durant les mois de juillet, août , septembre et novembre.

Pour les autres stades larvaires solitaires L2, L3, L4 et L5, en période printanière, leur apparition commence à partir de la deuxième décade du mois d'avril. Ces différents stades sont présents en grands nombre les mois d'avril et mai. En périodes estivale et automnale un faible nombre de ces stades était présent en juin, juillet, août, septembre et novembre.

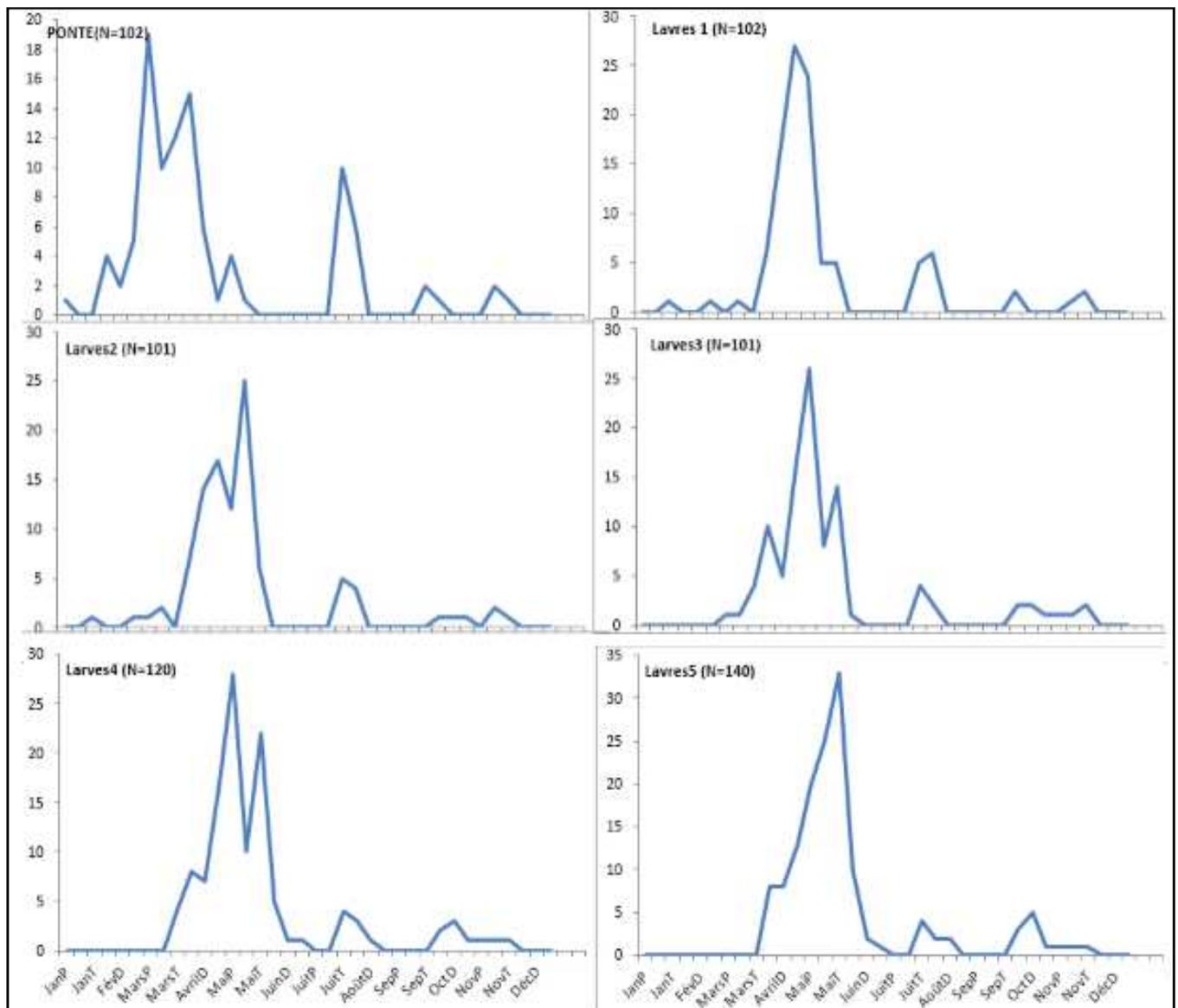


Figure 78 : Ponte et développement larvaire chez les solitaires.

3.2.1.2.2: Les transiens

Pour les transiens, nous avons observé une seule reproduction printanière qui commence durant la deuxième décennie du mois de février et s'étale jusqu'à la première décennie du mois de mai. Durant cette période printanière, nous avons démembré plus de 8 pontes échelonnées sur 4 mois (fig. 79) avec un maximum de pontes entre la première décennie du mois de mars et la deuxième décennie du mois d'avril.

Les éclosions et l'émergence du premier stade L1 commencent au début du mois de mars et interviennent d'une façon échelonnée jusqu'à la deuxième décennie du mois de mai.

L'émergence et le développement des autres stades larvaires L2 et L3 débutent la troisième décennie du mois de mars et s'étalent jusqu'à la troisième du mois de mai. Les stades larvaires L4 et L5 émergent la deuxième décennie du mois d'avril et s'étalent jusqu'à la deuxième décennie du mois de juin.

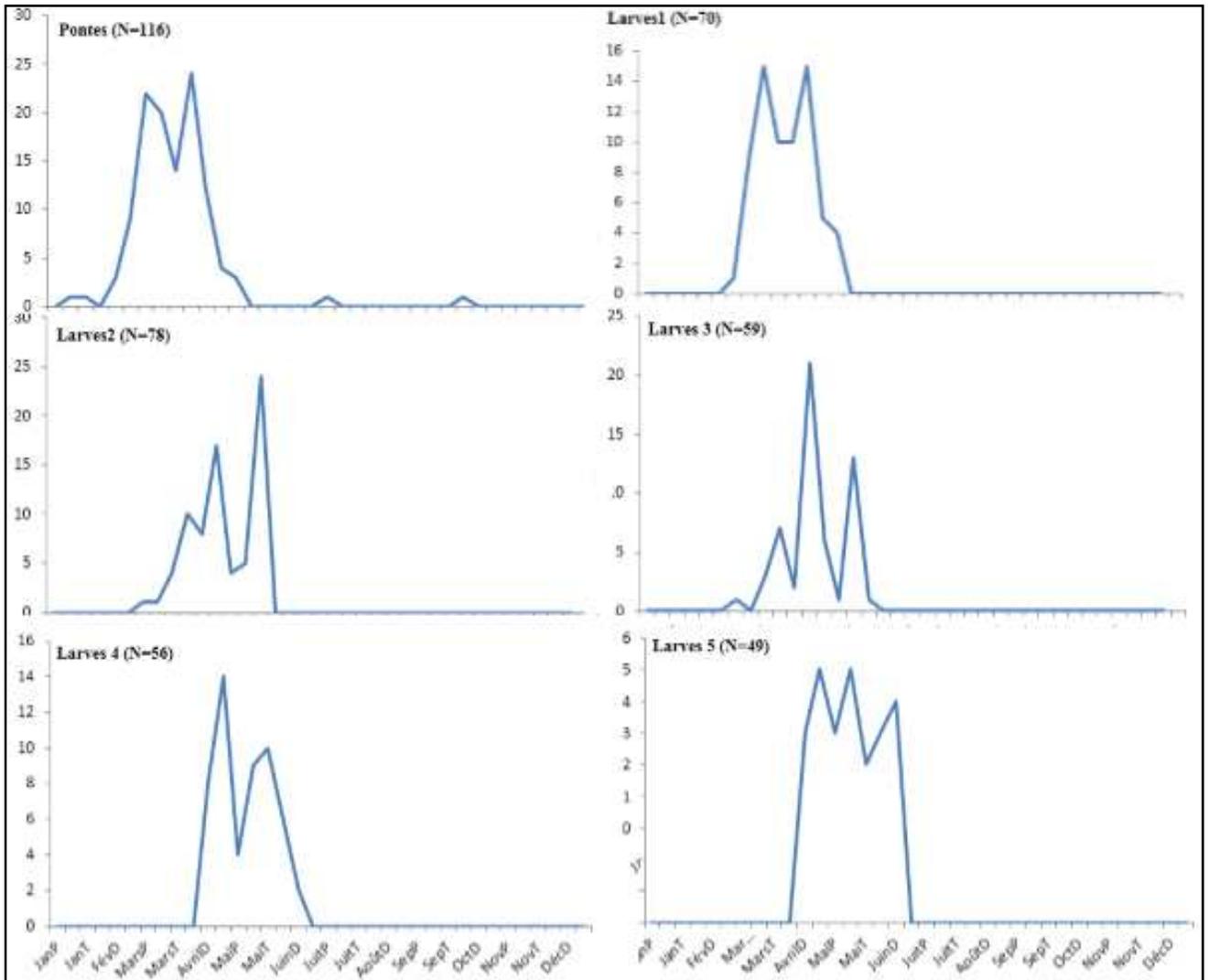


Figure 79 : Pontes et développement larvaires chez les transiens.

3.3: Conditions écologiques et criquet pèlerin dans les zones de reproduction du sud algérien

3.3.1: Le régime pluviométrique

L'étude du régime pluviométrique au niveau des zones potentielles de reproduction du criquet pèlerin a concerné les données historiques des stations météorologiques pour la région du Hoggar (Tamanrasset ville, Assekrem, et In Salah), Adrar, Illizi, Djanet, Tindouf et Béchar.

3.3.1.1: Au niveau du Hoggar

Tamanrasset

Pour les données météorologiques couvrant une période de 42 ans (1965 à 2007), la ville de Tamanrasset possède une moyenne pluviométrique annuelle de 50,78 mm avec une moyenne annuelle de 07 mois pluvieux. Les plus grandes quantités sont enregistrées durant la période estivale entre le mois de mai et octobre (fig. 80).

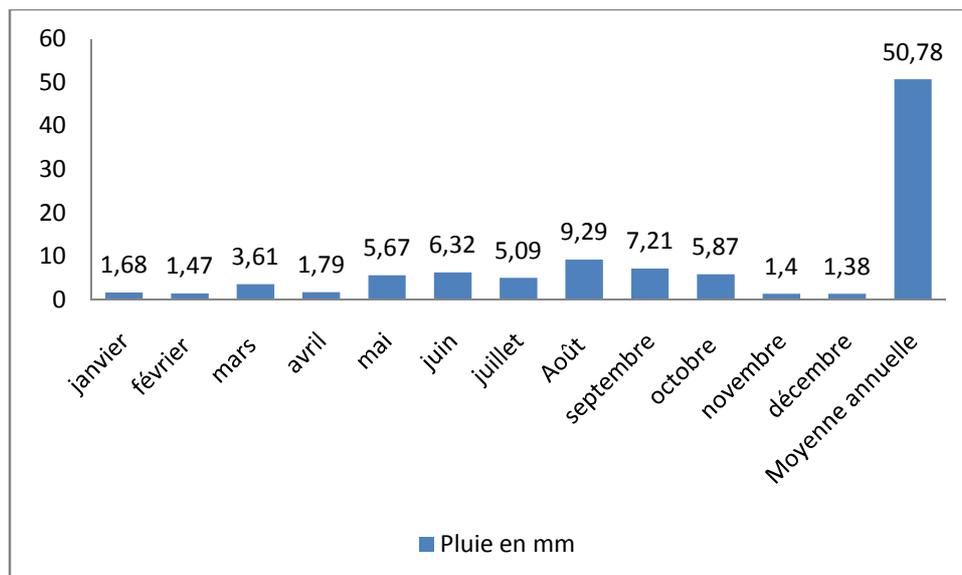


Figure 80 : Moyenne mensuelle des pluies à Tamanrasset.

Assekrem

La station de l'Assekrem est située au niveau du sommet du Hoggar à environ 3000 m. Pour les données météorologiques couvrant une période de 42 ans (1965 à 2007), cette station a une moyenne pluviométrique annuelle de 123,8 mm avec une moyenne annuelle de 08 mois pluvieux. Cette station peut enregistrer des pluies durant toute l'année. Les plus grandes quantités sont enregistrées durant la période estivale entre le mois de mai et octobre (fig. 81).

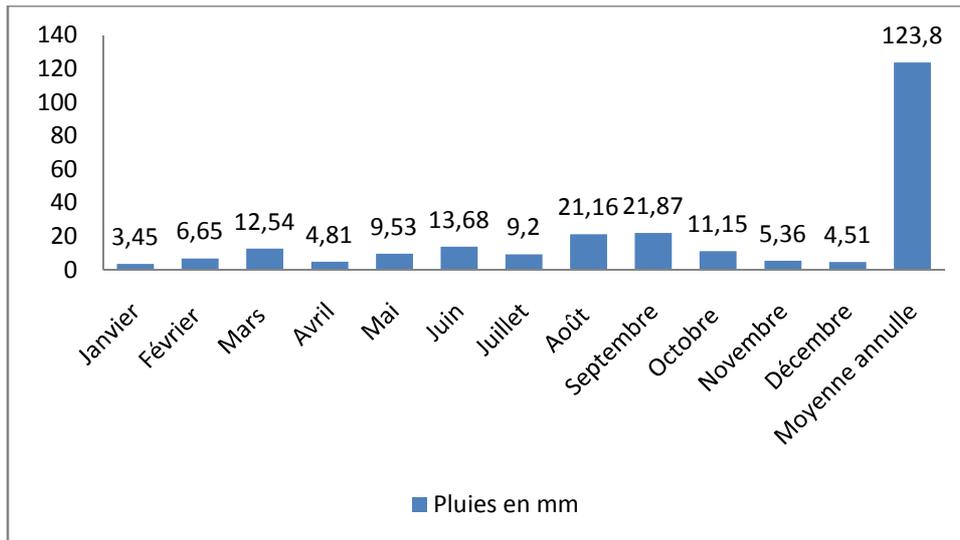


Figure 81 : Moyenne mensuelle des pluies à Assekrem (Hoggar).

3.3.1.2: Au niveau de In Salah

L'exploitation des données météorologiques couvrant une période de 42 ans (1965 à 2007), montre que la ville d'In Salah possède un régime pluviométrique très faible. En effet, la moyenne pluviométrique annuelle ne dépasse pas les 16,32 mm avec une moyenne annuelle de 03 mois pluvieux. Les pluies sont surtout enregistrées durant les périodes hivernales (fig. 82).

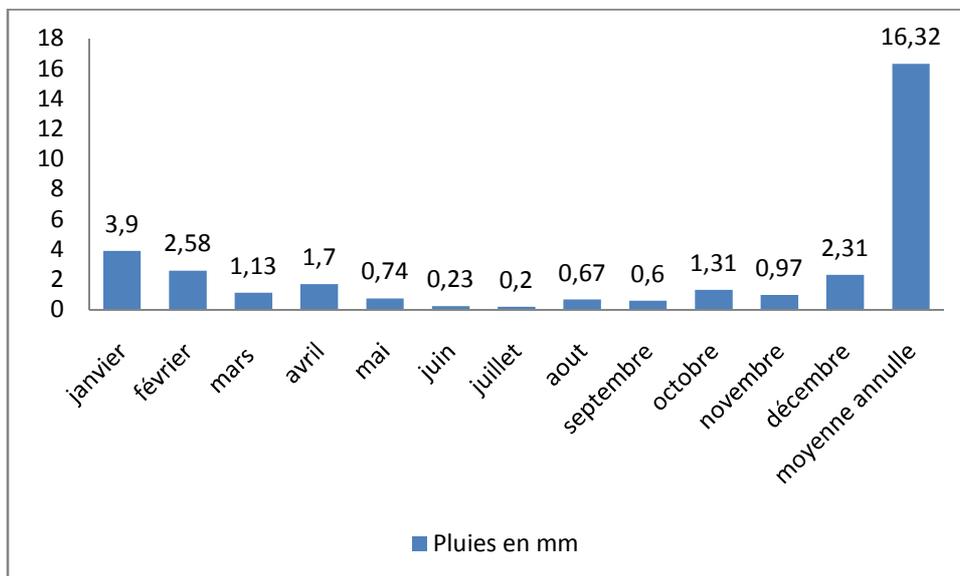


Figure 82 : Moyenne mensuelle des pluies à In Salah.

3.3.1.3: Au niveau d'Adrar

Comme pour In Salah, la pluie à Adrar est très faible. Uniquement une moyenne annuelle de 16,49 mm a été enregistrée durant 42 ans (1965 à 2007) pour une moyenne de 4 mois par an. (fig. 83).

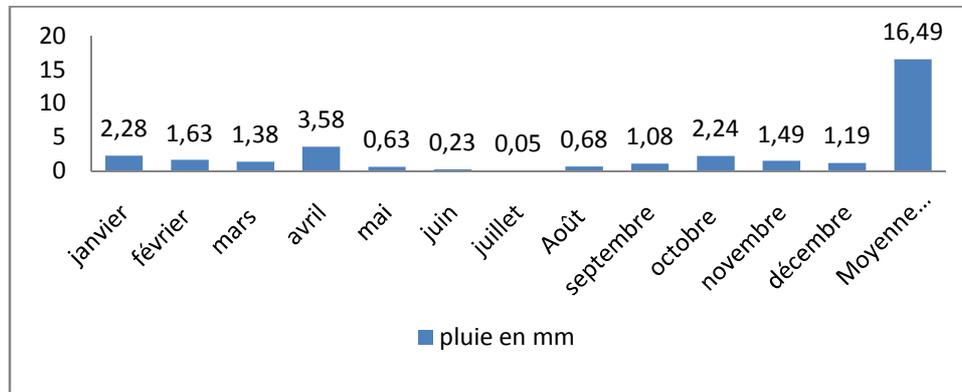


Figure 83 :Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Adrar.

3.3.1.4: Au niveau de Béchar

Sur une période de 42 ans (1965 à 2007), la ville de Béchar possède une moyenne pluviométrique annuelle de 87,28 mm avec une moyenne annuelle de 07 mois pluvieux. Les plus grandes quantités sont enregistrées durant les périodes automnale, hivernale et printanière (fig. 84).

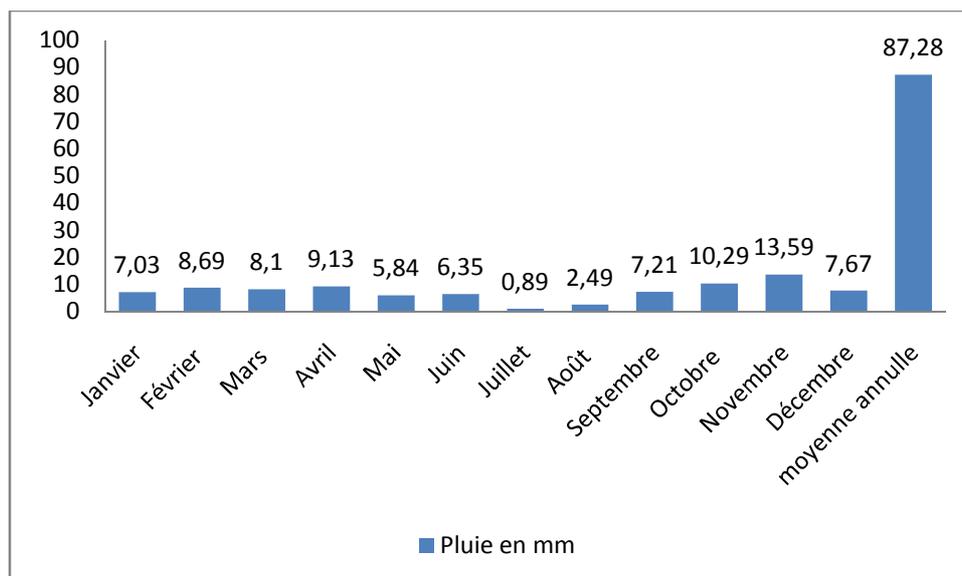


Figure 84 :Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Béchar.

3.3.1.5: Au niveau d'Illizi

Les données météorologiques couvrant une période de 16 ans (1991 à 2007), montre que la ville d'Illizi possède une moyenne pluviométrique annuelle de 23,3 mm avec une moyenne de 04 mois pluvieux par année. Les pluies sont irrégulières et peuvent toucher n'importe mois de l'année (fig. 85).

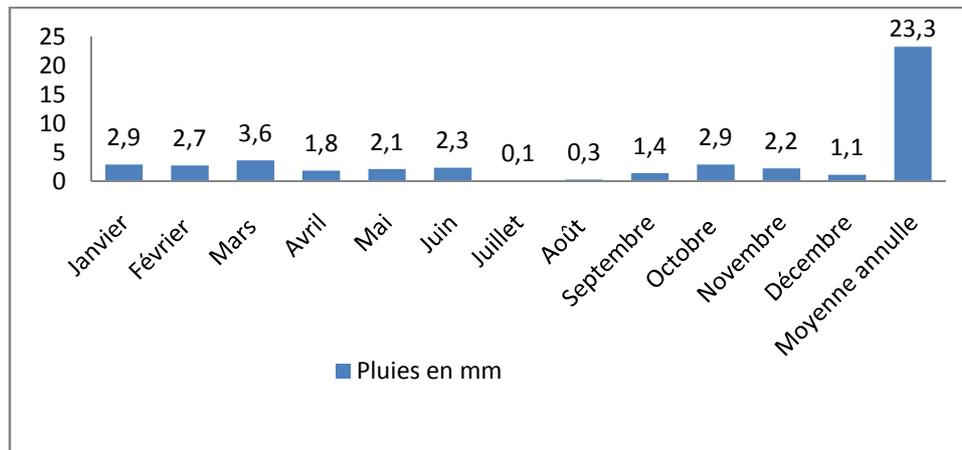


Figure 85 :Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Illizi.

3.3.1.6: Au niveau de Djanet

Les données météorologiques couvrant une période de 42 ans (1965 à 2007), montre les pluies de la ville de Djanet sont irrégulières avec une moyenne pluviométrique annuelle de 16,29 mm avec une moyenne de 04 mois pluvieux par an. (fig. 86).

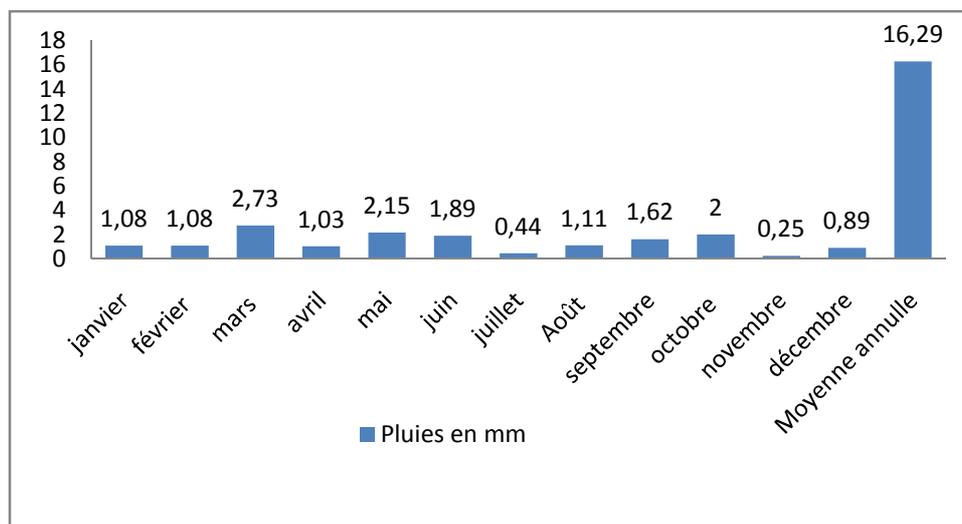


Figure 86 :Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Djanet.

3.3.1.7: Au niveau de Tindouf

Au niveau de Tindouf, les pluies sont irrégulières avec une moyenne annuelle calculée sur 42 ans de 53,38 mm avec une moyenne de 6 mois pluvieux par an. Les pluies sont surtout automnales et printanières de type atlantique (Fig. 87).

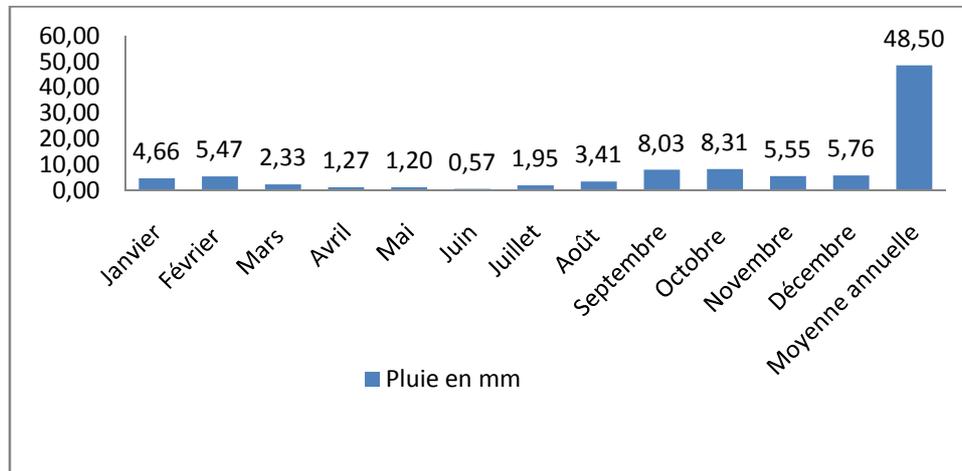


Figure 87 : Moyenne mensuelle et annuelle des pluies à Tindouf.

Le régime pluvieux des régions abritant les zones potentielles de reproduction du criquet pèlerin en période de rémission et de recrudescence est irrégulier de type hyper aride. En effet, la moyenne annuelle pour la majorité des stations ne dépasse pas les 80 mm, excepté pour la station de l'Assekrem.

3.3.2 : La végétation rencontrée au cours des opérations de surveillance et de lutte

Les prospections réalisées entre 1965 à 2013 dans le sud algérien au niveau des différents biotopes du criquet pèlerin ont permis le recensement de 55 espèces végétales appartenant à 22 familles (tableau 8). Parmi les 55 espèces végétales recensées il y a 30 espèces végétales annuelles, 2 pérennes et 23 vivaces.

Tableau 8 : Différentes espèces végétales collectées au niveau du sud algérien lors des prospections acridiennes entre 1965 et 2013.

FAMILLES	ESPECES	FAMILLES	ESPECES
RHAMNACEAE	<i>Zyziphus saharae</i>	F-FABACEAE	<i>Psoralea plicata</i>
ZYGOPHYLLACEAE	<i>Zygophyllum album</i>		<i>Indigofera argentea</i>
	<i>Zygophyllum lanatum</i>		<i>Crotolaria saharae</i>
	<i>Tribulus pentandrus</i>		<i>Astragalus vogelii</i>
	<i>Tribulus terrester</i>		<i>Lotus glinoides Delile</i>
	<i>Fagonia glutinosa</i>		<i>Retama retam</i>
	<i>Fagonia burguiri</i>	AMARYLLIDACEAE	<i>Pancratium trianthum</i>
BRASSICACEAE	<i>Zilla spinosa</i>		<i>Aerva javanica</i>
	<i>Schouwia purpurea</i>	CAPPARACEAE	<i>Maerua crassifolia</i>
	<i>Morettia canescens</i>		<i>Cloeme brachycarpa</i>
	<i>Morettia arvensis</i>	SOLANACEAE	<i>Hyoscyamus muticus</i>
	<i>Matthiola livida</i>	BORAGINACEAE	<i>Heliotropium undulatum</i>
	<i>Farsetia stylosa</i>	EUPHORBIACEAE	<i>Euphorbia dracunculoides</i>
	<i>Diploaxis pitardiana</i>		<i>Euphorbia granulata</i>
	<i>Malcomia aegyptiaca</i>		<i>Chrozophora brocchiana</i>
POACEAE	<i>Sorghum bicolor</i>	CUCURBITACEAE	<i>Citrilus colocynthis</i>
	<i>Schoenefeldia gracilis</i>	CYPERACEA	<i>Cyperus algeriensis</i>
	<i>Pennisetum violaceum</i>	F-CAESALPINACEAE	<i>Cassia italica</i>
	<i>Panicum turgidum</i>	POLYGONACEAE	<i>Calligonum polygonoides</i>
	<i>Aristida purgens</i>		<i>aligonum comosum</i>
	<i>Aristida plumosa</i>	NYCTAGINACEAE	<i>Boerhavia repens</i>
	<i>Schismus barbatus</i>	ASPHODELACEAE	<i>Asphodelus tenuifolius</i>
ASCLEPIADACEAE	<i>Solenostemma arghel</i>	TAMARICACEA	<i>Tamarix aphylla</i>
	<i>Calotropis procera</i>	F-MIMOSACEAE	<i>Acacia raddiana</i>
ASTERACEAE	<i>Pulicaria incisa</i>	CHENOPODIACEAE	<i>Salsola longifolia</i>
	<i>Cotula cinerae</i>	RESEDACEAE	<i>Reseda villosa</i>
	<i>Asteriscus graveolens</i>		
	<i>Nauplius graveolens</i>		
	<i>Artemisia campestris</i>		

La majorité des espèces végétales (55) appartiennent aux cinq familles (fig. 88 et 89) :

- Brassicaceae (8)
- Poaceae (7)
- Zygophyllaceae (6)
- Asteraceae (5)
- -Fabaceae (6).

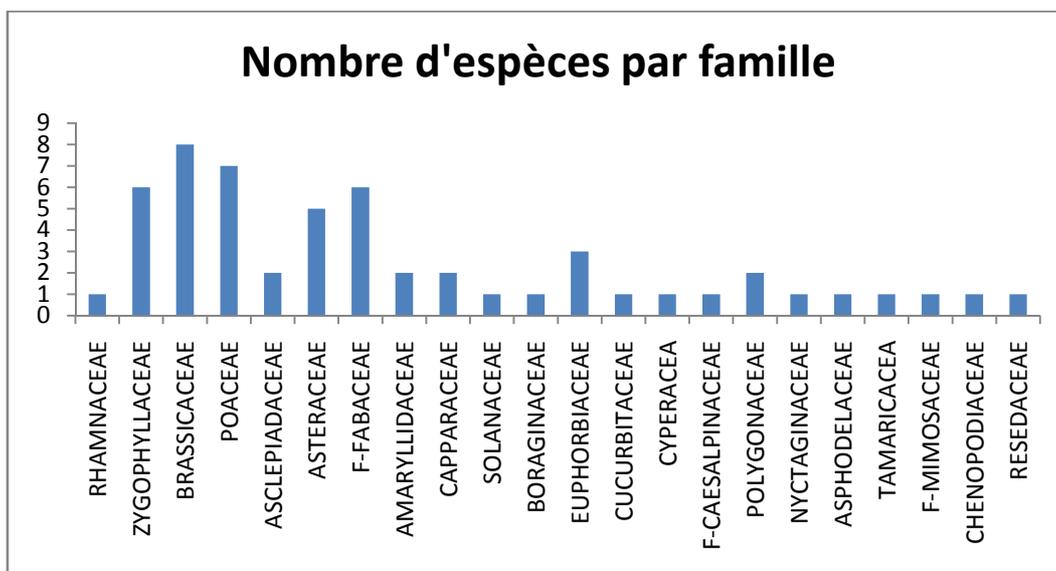


Figure 88 : Nombre d'espèces végétales rencontrées dans le sud algérien.



Figure 89 :Végétation dans l’oued Amded, en 2013, dans sud algérien (Originale).

3.3.3: Etude approfondie d'une zone pilote dans le Hoggar

Les conditions écologiques - végétation, pluie, nature et humidité du sol, température - influant sur le développement du criquet pèlerin ont été étudiées plus particulièrement dans une zone pilote de la région du Hoggar, connue comme zone potentielle de reproduction des solitaires. Après une présentation de la pluviométrie de la zone, la végétation et son impact sur le criquet pèlerin sont étudiées plus précisément au niveau de deux oueds, Amded et Tikouiat, où des études ont été menées durant une année, de juillet 2010 à juin 2011. La granulométrie des sols et leur humidité sont également abordées.

3.3.3.1: Le régime pluviométrique du Hoggar

3.3.3.1.1: Station de Tamanrasset

La moyenne mensuelle des pluies enregistrées de 1965 à 2007 au niveau de la station météorologique de la ville de Tamanrasset située à 1800 mètre d'altitude montre que les pluies touchent cette région en trois périodes. En période printanière durant le mois de mars, en période estivale durant les mois de juillet, août, septembre et en période automnale durant le mois d'octobre (fig. 90).

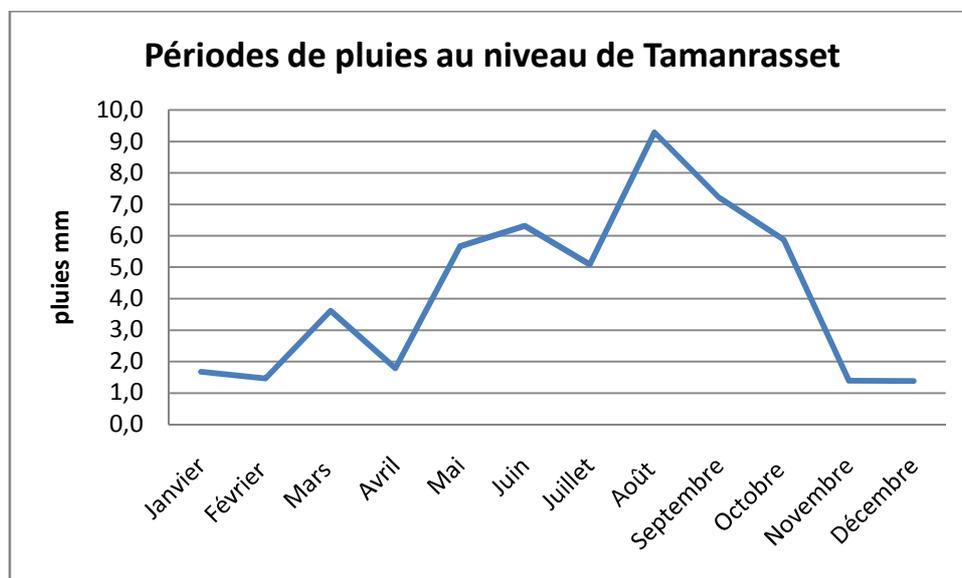


Figure 90 :Périodes de pluies au niveau de la station de Tamanrasset (Hoggar).

3.3.3.1.2: Station de l'Assekrem

Le régime de pluies au niveau de la station de l'Assekrem située à 3000 mètre d'altitude au centre du massif du Hoggar est peu différent de la station de Tamanrasset. En effet, la moyenne mensuelle calculée de 1965 à 2008 montre aussi qu'au niveau de cette station, les pluies tombent notamment en période printanière durant le mois de mars, en période estivale entre juin et septembre et en période automnale durant le mois d'octobre (fig. 91).

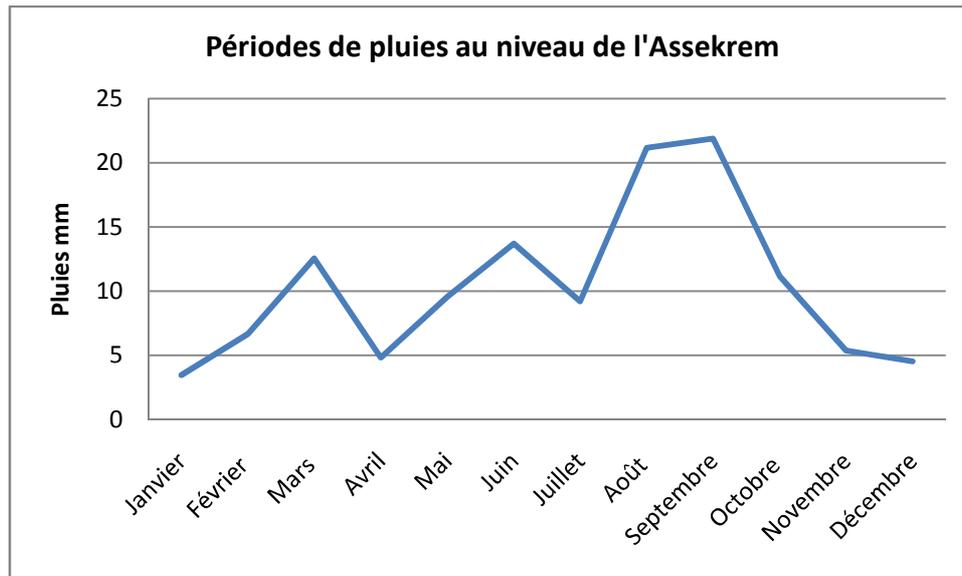


Figure 91 :Périodes de pluies au niveau de la station de l'Assekrem (Hoggar).

3.3.3.2. La végétation du Hoggar

Les conditions écologiques - végétation, pluie, nature de sol, humidité de sol, température - influent sur le développement du criquet pèlerin de la région du Hoggar connue comme zone potentielle de reproduction des solitaires. Ces conditions écologiques ont été étudiées au niveau de deux oueds, Amded et Tikouiat, durant une année de juillet 2010 à juin 2011.

3.3.3.2.1 : Les espèces végétales et leur développement

Les oueds Amded et Tikouiat sont successivement étudiés.

Végétation de la zone de reproduction de l'oued Amded

Le nombre des espèces végétales rencontrées au niveau d'Oued Amded varie en fonction des stations. Celles situées en amont renferment plus d'espèces végétales (tableau 9 et fig. 92).

Tableau 9: Espèces végétales rencontrées dans l'oued Amded (1 à 6, différentes stations).

Amded1 (632m)	Amded2 (642m)	Amded3 (694m)	Amded4 (708m)	Amded5 (722m)	Amded6(754m)
<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Schouwia purpurea</i>
<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Boerhavia repens</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Tribulus pentandrus</i>
<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Morettia canescens</i>	<i>Morettia canescens</i>	<i>Farsetia stylosa</i>
<i>Boerhavia repens</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Morettia canescens</i>	<i>Artemisia sp.</i>	<i>Artemisia sp.</i>	<i>Morettia canescens</i>
<i>Calotropis procera</i>	<i>Citrus colocyntis</i>	<i>Heliotropium crispum</i>	<i>Heliotropium crispum</i>	<i>Zilla spinosa</i>	<i>Cleome brachycarpa</i>
<i>Citrus colocyntis</i>	<i>Zilla spinosa</i>	<i>Calotropis procera</i>	<i>Cleome brachycarpa</i>	<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Fagonia arabica</i>
<i>Pulicaria incisa</i>	<i>Calotropis procera</i>	<i>Aerva javanica</i>	<i>Fagonia arabica</i>	<i>Fagonia arabica</i>	<i>Tamarix aphylla</i>
<i>Panicum turgidum</i>	<i>Panicum turgidum</i>	<i>Zilla spinosa</i>	<i>Calotropis procera</i>	<i>Calotropis procera</i>	<i>Citrus colocyntis</i>
		<i>Citrus colocyntis</i>	<i>Tamarix aphylla</i>	<i>Tamarix aphylla</i>	<i>Pulicaria incisa</i>
		<i>Panicum turgidum</i>	<i>Zilla spinosa</i>	<i>Pulicaria incisa</i>	<i>Salsola imbricata</i>
			<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Citrus colocyntis</i>	<i>Zilla spinosa</i>
			<i>Citrus colocyntis</i>	<i>Panicum turgidum</i>	<i>Calotropis procera</i>
			<i>Panicum turgidum</i>		<i>Panicum turgidum</i>

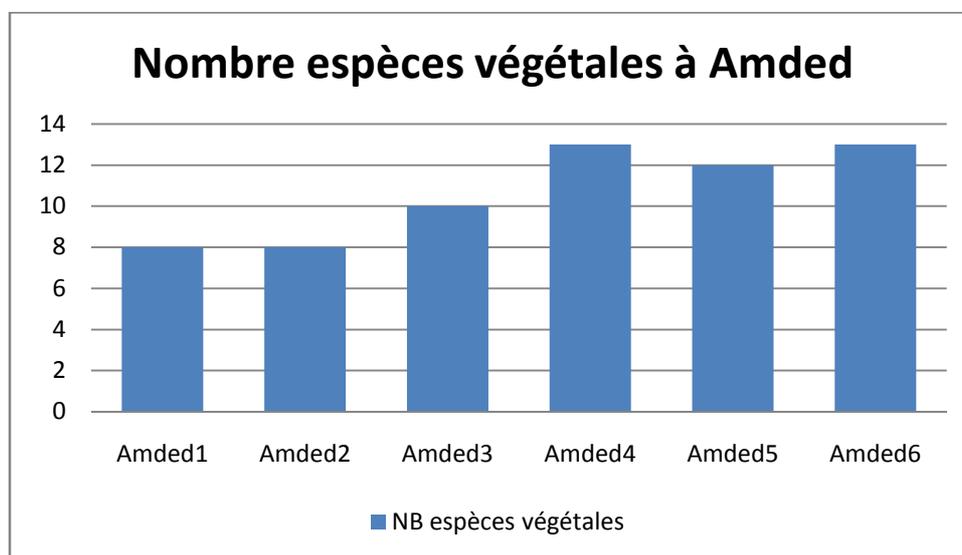


Figure 92 : Nombre d'espèces végétales par station au niveau de l'oued Amded.

Pour suivre le développement de la végétation annuelle et vivace au niveau d'Oued Amded, nous avons réalisé des relevés décennaires depuis l'installation de la végétation suite aux premières pluies estivales (juillet 2011) et jusqu'au dessèchement total.

Pour représenter sous forme de graphe le développement de la végétation, nous avons attribué à chaque stade de développement un chiffre (de 1 à 5) comme suit :

- 1 : stade germination (végétation annuelle) et repousse (végétation vivace),
- 2 : stade feuillaison,
- 3 : stade floraison,
- 4 : stade fructification,
- 5 : stade dessèchement.

Le suivi du développement de la végétation annuelle au niveau d'Oued Amded a concerné quatre espèces annuelles les plus importantes pour le criquet pèlerin : *Schouwia purpurea*, *Tribulus pentandrus*, *Boerhavia repens*, *Morettia canescens* (Duranton, 2012).

Les relevés de la végétation réalisés à Oued Amded durant presque une année, du 10 juillet 2010 au 15 mai 2011, montrent que la végétation annuelle commence à pousser après les premières pluies estivales du mois de juillet et jusqu'au mois de septembre. Le développement se poursuit durant l'automne. La durée du développement par espèce se présente comme suit (fig. 93) :

- *Schouwia purpurea* et *Morettia canescens* ont pu persister environ 8 mois. Les premières poussées ont été observées au mois de juillet 2011, le développement s'est achevé le mois de novembre 2011 et elles ont gardé leur verdure jusqu'au mois de mars 2011.
- *Boerhavia repens* a pu persister 6 mois. Elle pousse après les premières pluies estivales, son cycle de développement a duré 4 mois de juillet à novembre.
- *Tribulus pentandrus*, c'est une plante annuelle présente deux mois au maximum. Les premières pousses ont été observées après les pluies estivales et elle a disparu dès le mois de septembre.

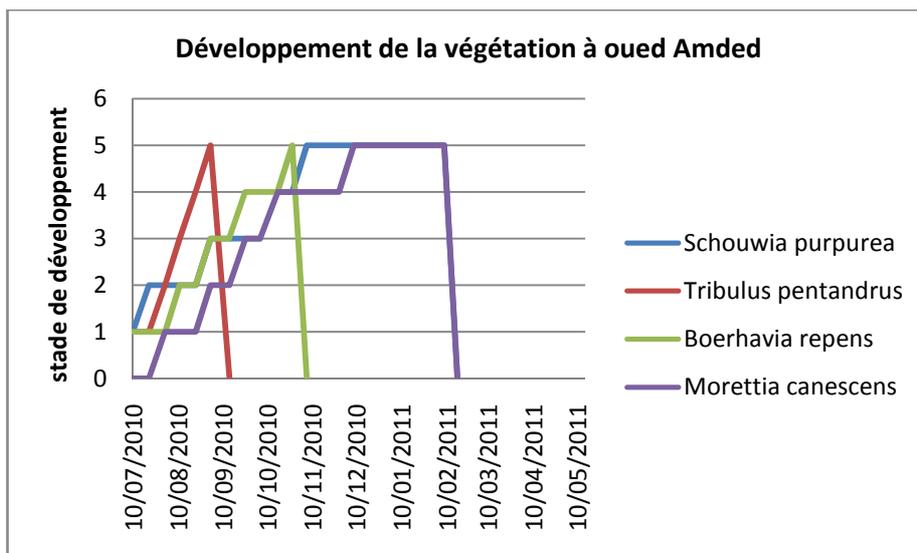


Figure 93 : Durée de développement de la végétation annuelle dans l’oued Amded.

Végétation de la zone de reproduction de l’oued Tikouiat

Le nombre des espèces végétales rencontrées au niveau de l’oued Tikouiat varie en fonction des stations et en fonction de l’altitude. Le nombre d’espèces végétales par station a varié entre treize espèces végétales pour la station 6 qui est située à 787 mètres et cinq espèces végétales pour la station 1 qui est située à 703 mètres d’altitude (fig. 94 et tableau 10).

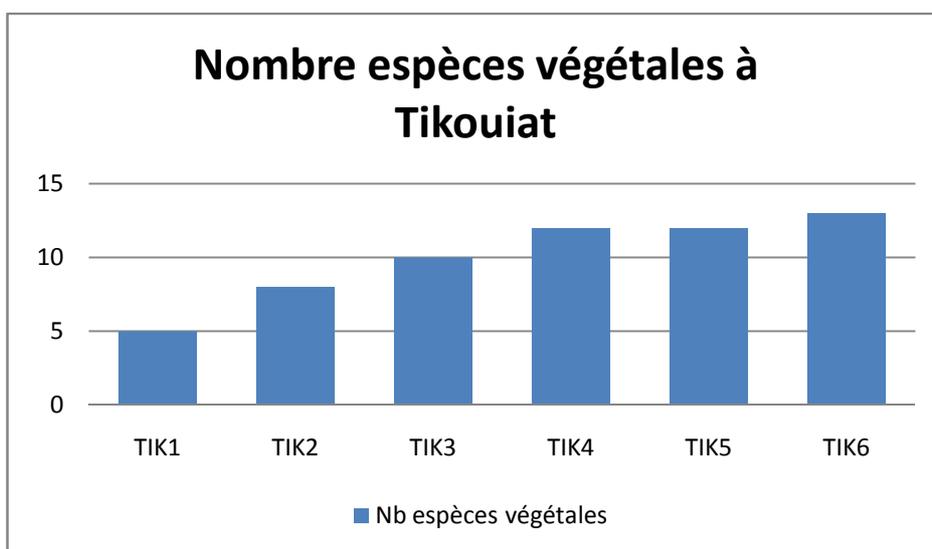


Figure 94 : Nombre d’espèces végétales par station au niveau de l’oued Tikouiat.

Tableau 10: Espèces végétales rencontrées dans l'oued Tikouiat.

Tikouiat 1 (703m)	Tikouiat 2 (717m)	Tikouiat 3 (738m)	Tikouiat 4 (767m)	Tikouiat 5 (771m)	Tikouiat 6 (787m)
<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Citrulus colocynthis</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Citrulus colocynthis</i>
<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Schouwia purpurea</i>	<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Tribulus pentandrus</i>	<i>Morettia canescens</i>	<i>Schouwia purpurea</i>
<i>Morettia canescens</i>	<i>Boerhavia repens</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Tribuluspentandrus</i>
<i>Astragalus vogelii</i>	<i>Farsetia stylosa</i>	<i>Morettia canescens</i>	<i>Morettia canescens</i>	<i>Citrulus colocynthis</i>	<i>Farsetia stylosa</i>
<i>Citrulus colocynthis</i>	<i>Morettia canescens</i>	<i>Citrulus colocynthis</i>	<i>Citrulus colocynthis</i>	<i>Salsola imbricata</i>	<i>Morettia canescens</i>
	<i>Reseda villosa</i>	<i>Salsola imbricata</i>	<i>Salsola imbricata</i>	<i>Calotropis procera</i>	<i>Salsola imbricata</i>
	<i>Cleome brachycarpa</i>	<i>Calotropis procera</i>	<i>Calotropis procera</i>	<i>Pulicaria incisa</i>	<i>Reseda villosa</i>
	<i>Salsola imbricata</i>	<i>Boerhavia repens</i>	<i>Cleome brachycarpa</i>	<i>Cleome brachycarpa</i>	<i>Fagonia arabica</i>
		<i>Reseda villosa</i>	<i>Aerva javanica</i>	<i>Aerva javanica</i>	<i>Calotropis procera</i>
		<i>Cleome brachycarpa</i>	<i>Pulicaria incisa</i>	<i>Boerhavia repens</i>	<i>Pulicaria incisa</i>
			<i>Boerhavia repens</i>	<i>Reseda villosa</i>	<i>Boerhavia repens</i>
			<i>Reseda villosa</i>	<i>Tribuluspentandrus</i>	<i>Cleome brachycarpa</i>
					<i>Aerva javanica</i>

Les relevés de la végétation réalisés à Oued Tikouiat durant presque une année, à partir du 9 juillet 2010 au 14 mai 2011, montrent que les premières espèces végétales annuelles ont commencé à pousser la première décennie du mois de juillet, après les pluies estivales de ce mois de juillet et jusqu'au mois de septembre. Le développement s'est poursuivi durant l'automne. La durée du développement par espèce est comme suit (fig. 95) :

- *Schouwia purpurea* et *Morettia canescens* ont persisté environ 7 mois. Les premières poussées ont été observées au mois de juillet 2010, au mois de novembre 2010 et elles étaient totalement développées. Le dessèchement total a été observé au début du mois de février 2011.
- *Boerhavia repens*, était présente durant 5 mois. Les premières pousses ont été observées en juillet 2010 et le dessèchement total de cette espèce a été observé le mois de novembre de la même année.
- *Tribulus pentandrus* est une plante annuelle persistant deux mois au maximum. Les premières pousses ont été observées durant la deuxième décennie du mois de juillet

2010. A la fin du mois d'août de la même année, cette espèce végétale a accompli son développement et a disparu la fin de mois de septembre 2010 après un court cycle de développement.

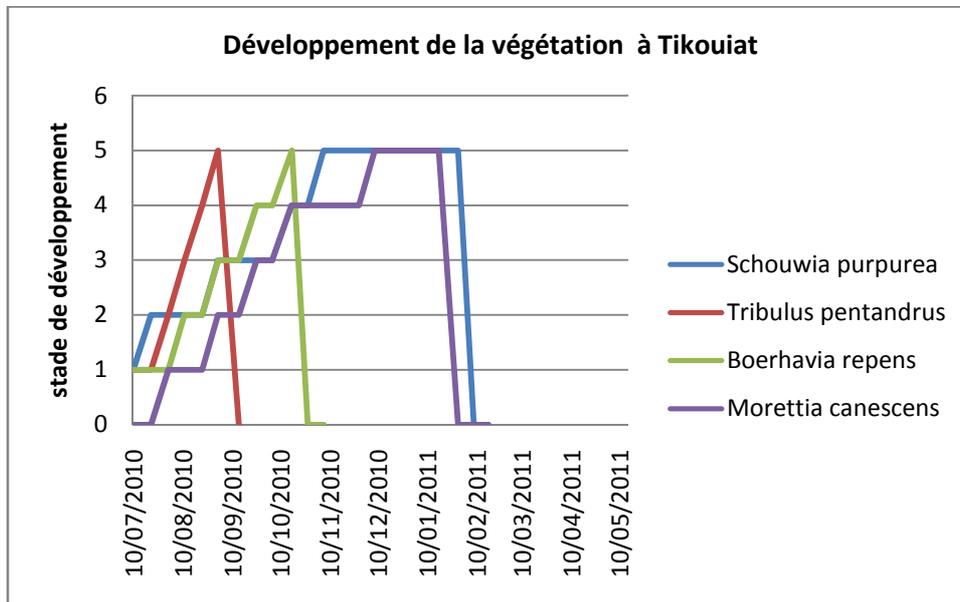


Figure 95 : Développement de la végétation annuelle au niveau d'oued Tikouiat.

3.3.3.2.2 : Végétation et régime alimentaire du criquet pèlerin dans le Hoggar

Le criquet pèlerin est un insecte phytophile et phytophage, c'est-à-dire qu'il vit dans la végétation qui lui sert d'abri et de perchoir et qu'il s'en nourrit. En milieu désertique, le tapis herbeux est rarement dense mais certaines plantes sont susceptibles d'offrir abri et protection, principalement aux jeunes larves. Le port de la plante, la structure des rameaux et la densité du feuillage sont autant d'éléments susceptibles de favoriser ou non la dissimulation (Duranton et al 2012).

En phase solitaire, le criquet pèlerin manifeste des préférences alimentaires bien marquées, dont certaines restent à préciser ou à élucider. L'analyse des contenus digestifs des 92 individus (67 femelles et 25 mâles) collectés sur les deux stations nous a permis, par l'étude du contenu des fèces, de déterminer le régime alimentaire du criquet pèlerin dans la région. Les espèces végétales consommées par les individus collectés sont indiquées dans les tableaux 11 et 12 et les figures 96 et 97.

Tableau 11: Fréquence relative des espèces consommées par le criquet pèlerin dans l'oued Arak.

Espèces végétales	Fréquence % (femelles)	Fréquence% (mâles)
<i>Schouwia purpurea</i>	63	63,5
<i>Astragalus vogelii</i>	22,45	9,7
<i>Psoralea plicata</i>	2,42	8,33
<i>Frasetia stylosa</i>	6,45	12,9
<i>Cotula cinerea</i>	-	5,2
<i>Citriluscococynthis</i>	3,5	-

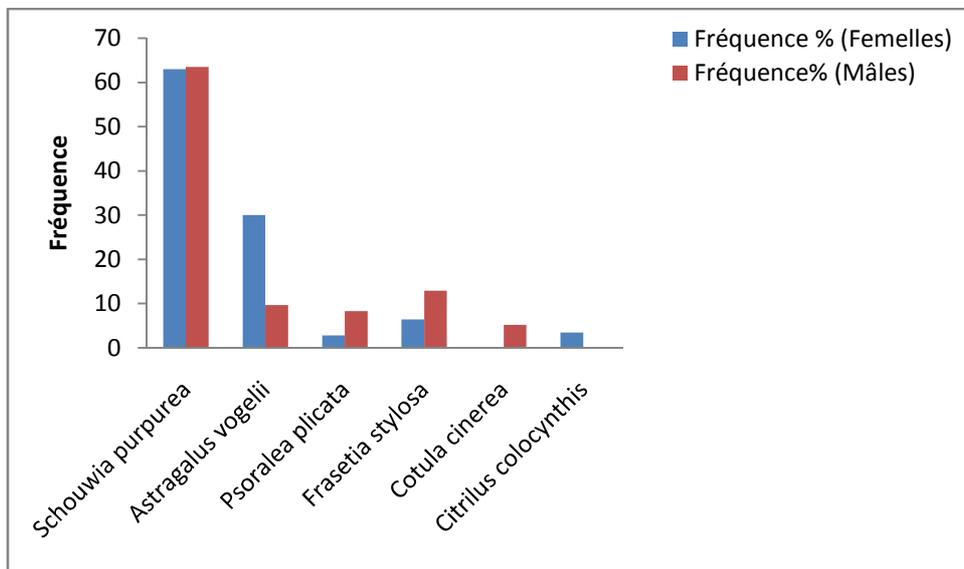


Figure 96 : Espèces végétales consommées par le criquet pèlerin dans l'oued Arak.

Tableau 12: Fréquences relatives des espèces consommées par le criquet pèlerin dans l'oued Amded.

Espèces végétales	Fréquence % (femelles)	Fréquence% (mâles)
<i>Schouwia purpurea</i>	45	44
<i>Chrozophora brocchiana</i>	30	-
<i>Psoralea plicata</i>	2,8	-
<i>Heliotropium undulatum</i>	10,8	20

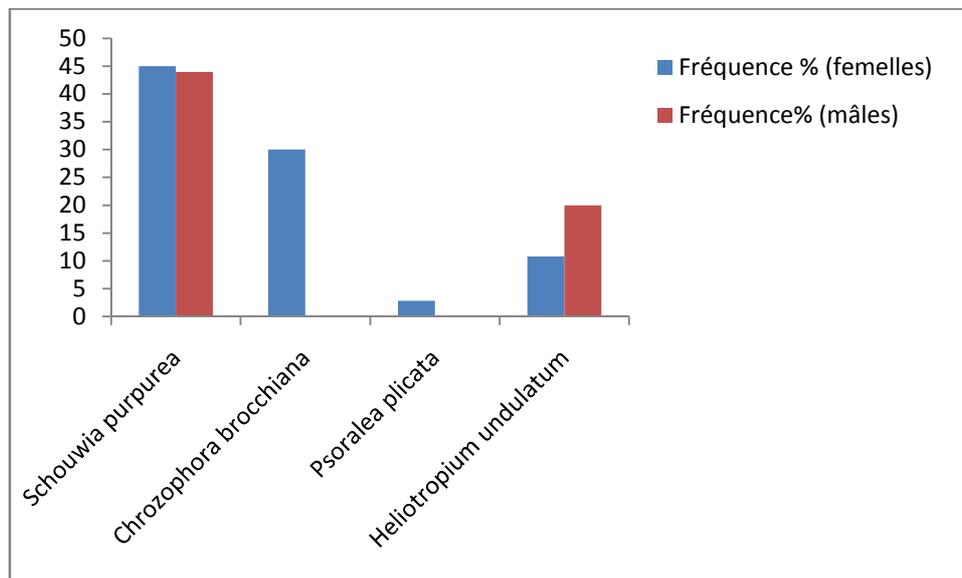


Figure 97 : Espèces végétales consommées au niveau d'Oued Amded.

Ces graphes montrent que 4 espèces végétales à l'oued Amded et 6 espèces végétales à l'oued Arak ont été observées dans les fèces des individus étudiés. Au niveau de l'oued Amded les femelles ont consommé 4 espèces végétales et les mâles seulement 2 sur les 12 espèces végétales existantes. Dans la station de l'oued Arak, les femelles et les mâles ont consommé 5 espèces végétales sur les 10 existantes. L'espèce végétale la plus consommée dans les deux stations - aussi bien par les femelles que par les mâles - est *Schouwia purpurea*. Cette espèce a constitué 44- 45% du régime alimentaire des individus prélevés dans la station de l'oued Amded et 63 - 63,5% dans la station de l'oued Arak.

Ces divers résultats sur le régime alimentaire du criquet pèlerin dans le sud algérien ont fait l'objet d'une publication dans *International Journal of Zoology and Research* (voir annexe au chapitre 3.3.).

3.3.3.3. L'humidité du sol dans la zone pilote du Hoggar

3.3.3.3.1 : Caractéristiques granulométriques des stations de l'Oued Amded

Les analyses granulométriques des échantillons du sol prélevés au niveau des six stations de l'oued Amded, montrent que les sols sont composés en général de sable qui représente plus de 50% de la composition totale, suivi par le limon. La teneur en argile ne dépasse pas les 10%(Tableau 13).

Tableau 13 : Caractéristiques granulométriques des stations oued Amded.

Stations (numéro)	Altitude (mètre)	Longitude	Latitude	Granulométrie%		
				Argile	Limon	Sable
1	632	4,12 E	22,42 N	9,86	36,64	53,5
2	642	4,15 E	22,45 N	10,09	36,79	53,12
3	694	4,24 E	22,49 N	8,23	5,55	86,22
4	708	4,28 E	22,5 N	6,63	13,85	79,52
5	722	4,31 E	22,53 N	6,47	2,03	91,5
6	754	4,32 E	22,56 N	7,23	6,81	85,96

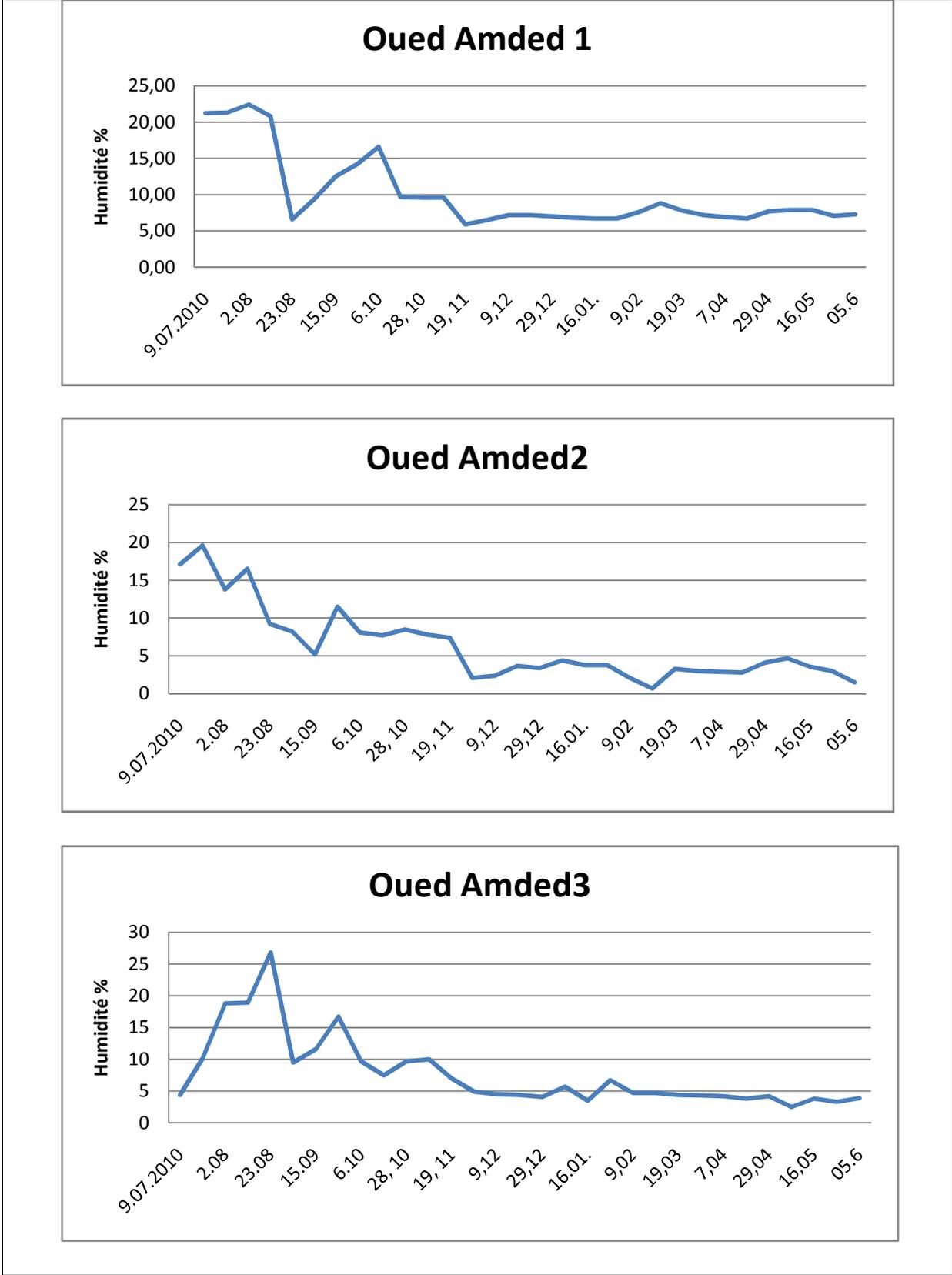
3.3.3.3.2 : Suivi de l'humidité du sol

L'humidité de sol au niveau de l'oued Amded et de l'oued Tikouiat ont été suivi durant une année (2010/2011). Les premiers prélèvements ont été effectués dans le courant du mois de juillet 2010 et les derniers au mois de juin 2011. Ces prélèvements ont été effectués, dans chaque oued, au niveau de six stations choisies en fonction de l'altitude.

Suivi de l'humidité du sol de l'oued Amded

Au niveau de l'oued Amded, les fortes valeurs de l'humidité de sol ont été observées durant les mois de juillet, août et septembre, durant la période de fortes pluies estivales. En effet, au niveau des six stations, le taux de l'humidité de sol était compris entre 10 et 25%. A partir de

la fin des pluies estivale, en octobre, le taux de l'humidité du sol est tombé entre 3% et 5% (fig. 98).



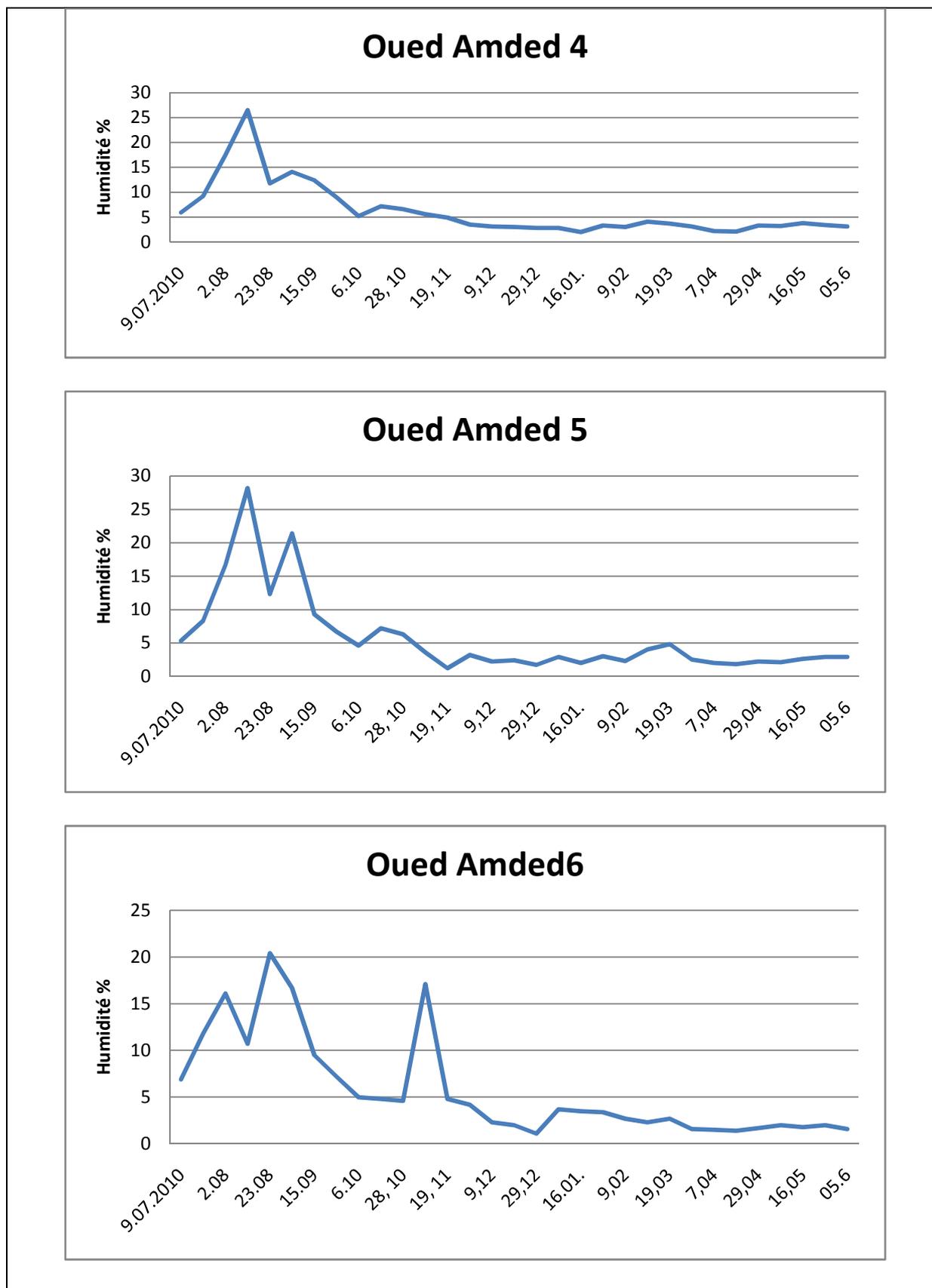
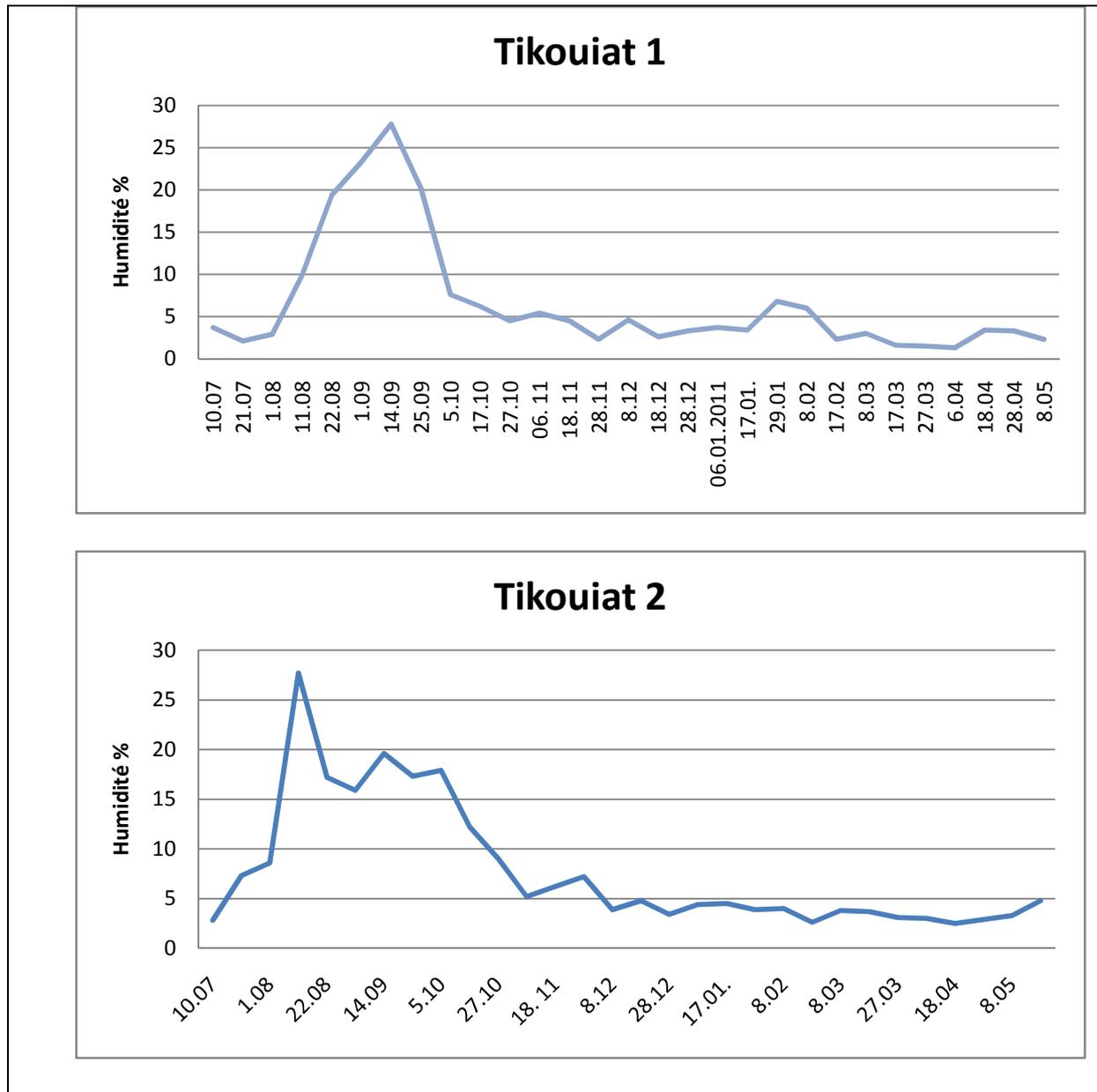


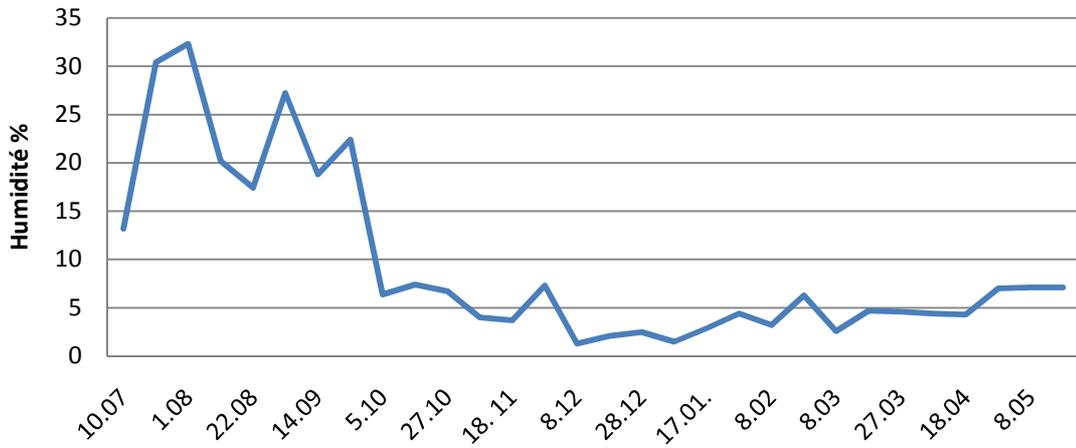
Figure 98 :Evolution de l'humidité de sol au niveau de l'oued Amded.

Suivi de l'humidité du sol de l'oued Tikouiat

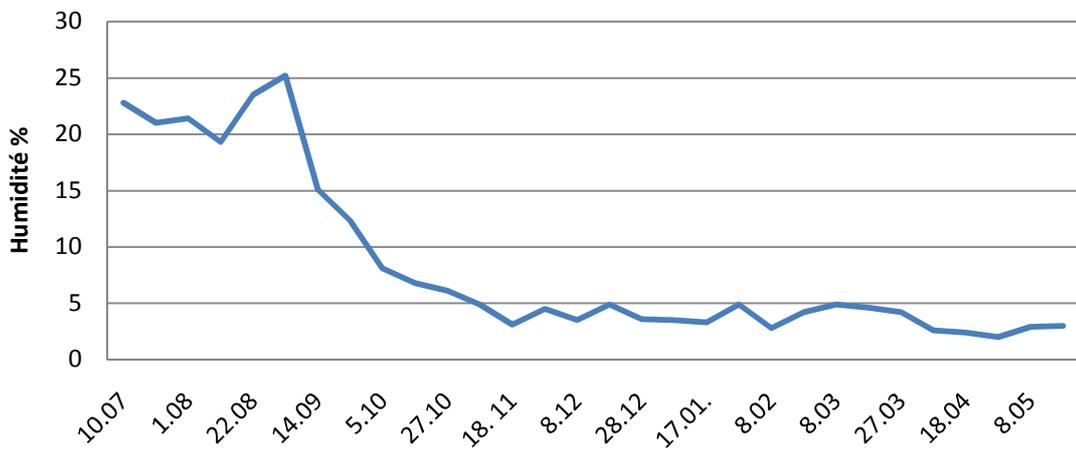
Au niveau de l'oued Amded, les fortes valeurs de l'humidité de sol ont été observées durant les mois de juillet, août et septembre, durant la période de fortes pluies estivales. En effet, au niveau des six stations, le taux de l'humidité du sol était compris entre 10 et 25%. A partir de la fin des pluies estivales, en octobre, le taux de l'humidité du sol a chuté entre 3% et 5% (fig. 99).



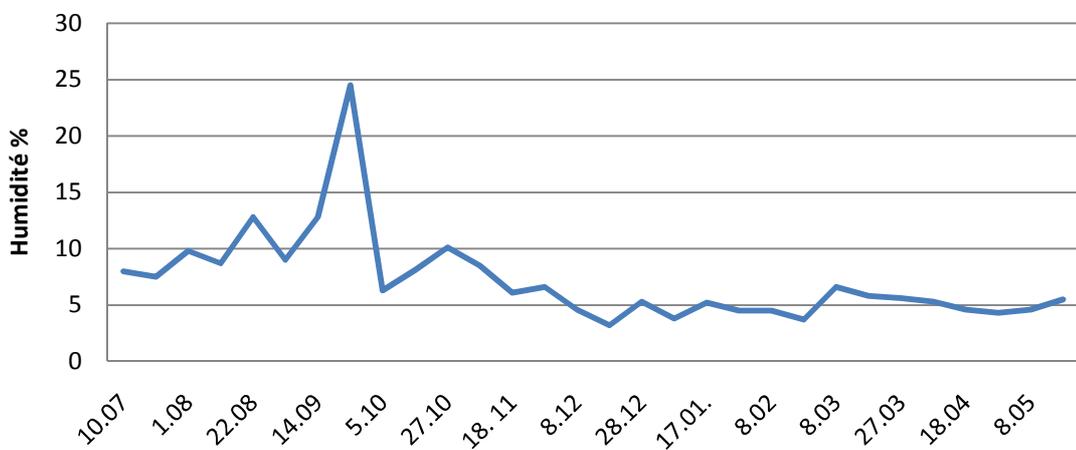
Tikouiat 3



Tikouiat 4



Tikouiat 5



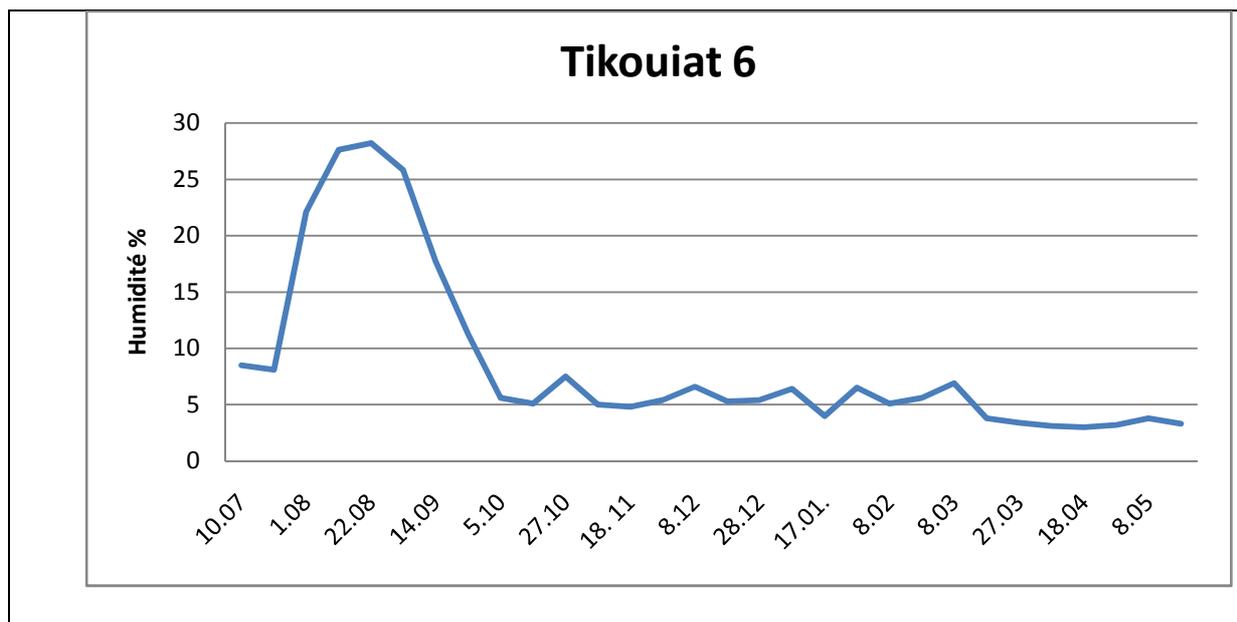


Figure 99 :Evolution de l'humidité de sol au niveau d'oued Tikouiat.

3.3.4 : Conditions écologiques et criquet pèlerin à l'échelle du sud algérien

3.3.4.1 : Objectif

L'objectif a été ici de comprendre les dynamiques annuelles de présence acridienne au sein de trois régions du sud Algérien - Tamanrasset, Adrar et Djanet - connues comme zones importantes de grégarisation, d'analyser les relations éventuelles pouvant exister entre elles ainsi que l'influence des conditions écologiques sur ces dynamiques. Nous avons exploré ces aspects en utilisant des données écologiques et acridiennes récoltées en Algérie sur 31 années – de 1980 à 2011 - en nous focalisant sur les périodes de rémission et de recrudescence d'importance toute particulière pour améliorer les stratégies de prévention.

Pour ce qui est des méthodes utilisées, nous apportons tout d'abord quelques compléments par rapport aux aspects généraux décrits dans le chapitre 2, avant de présenter puis discuter les résultats obtenus.

Cette étude a été réalisée sur une faible portion de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin, dans le sud algérien, zone comprise entre 20° et 29° de latitude Nord et 10° et -1.5° de longitude. Cette zone abrite les principales aires potentielles de développement, de reproduction et de grégarisation du Criquet pèlerin en Algérie. Depuis 1965, plus de 90% des signalisations de présence de cet insecte y ont été effectuées. Au sein de cette zone, trois régions peuvent être

distinguées, correspondant chacune à des zones connues de reproduction potentielles, tant des solitaires que des transiens: la région de Tamanrasset dans le Sahara méridional, située près du massif du Hoggar et culminant à 3000 m ; la région d'Adrar/In Salah au cœur du Sahara central à une altitude moyenne de 800 m ; et la région de Djanet/Illizi dans le Sahara central oriental, en plein massif du Tassili N'Ajjer qui culmine à 1600 m (Fig. 100). Chaque zone a été délimitée sur la base de critères topographiques et géomorphologiques en incluant pour chacune le massif montagneux et le bassin versant associé où se situent les biotopes du Criquet pèlerin.

Dans l'ensemble de la zone d'étude le climat est saharien, caractérisé par son aridité : très faible pluviosité, températures souvent élevées - 40 à 45° C. mais pouvant frôler les 50°C. - et forte amplitude thermique quotidienne. Les précipitations moyennes annuelles (1965 à 2013) sont de $50,8 \pm 16,4$ mm pour la région de Tamanrasset, $16,3 \pm 16,4$ mm pour celle d'Adrar, et de $16,3 \pm 15,8$ mm pour celle de Djanet. Dans toute cette région les habitats de grégarisation du Criquet pèlerin sont pratiquement toujours associés aux réseaux d'épandage des massifs montagneux sahariens (Adrar des Iforas, Hoggar) et se situent le long des oueds aux sols argilo-limoneux couverts de sable retenant bien l'humidité et permettant la ponte sur une longue période de temps. L'humidité nécessaire à la reproduction résulte à la fois des pluies et des écoulements en provenance des zones plus hautes où des pluies orographiques locales viennent compléter les rares pluies saisonnières (Popov et al, 1991 ; Popov, 1997). Dans certains cas, en particulier dans celui des épandages d'oueds de montagne, le bassin versant où sont collectées les eaux de pluie peut être distant de plus d'une centaine de kilomètres des sites d'épandage qui constituent des habitats de grégarisation. Dans d'autres cas, les réserves hydriques accumulées sont considérables et restent disponibles durant plusieurs mois (Lecoq 2012). Lorsque les apports en eau sont suffisants, le Criquet pèlerin trouve dans ces habitats des conditions optimales de développement tant sur le plan de l'alimentation (*Schouwiapurpurea*, *Tribulus* sp., etc.) que sur celui de l'abri (*Acacia ehrenbergiana*, *Acacia tortilis raddiana*, etc.) (Duranton et al, 2012). Ces foyers de grégarisation, habitats les plus favorables au Criquet pèlerin, sont ceux faisant l'objet d'une surveillance régulière dans le cadre des opérations de prévention.

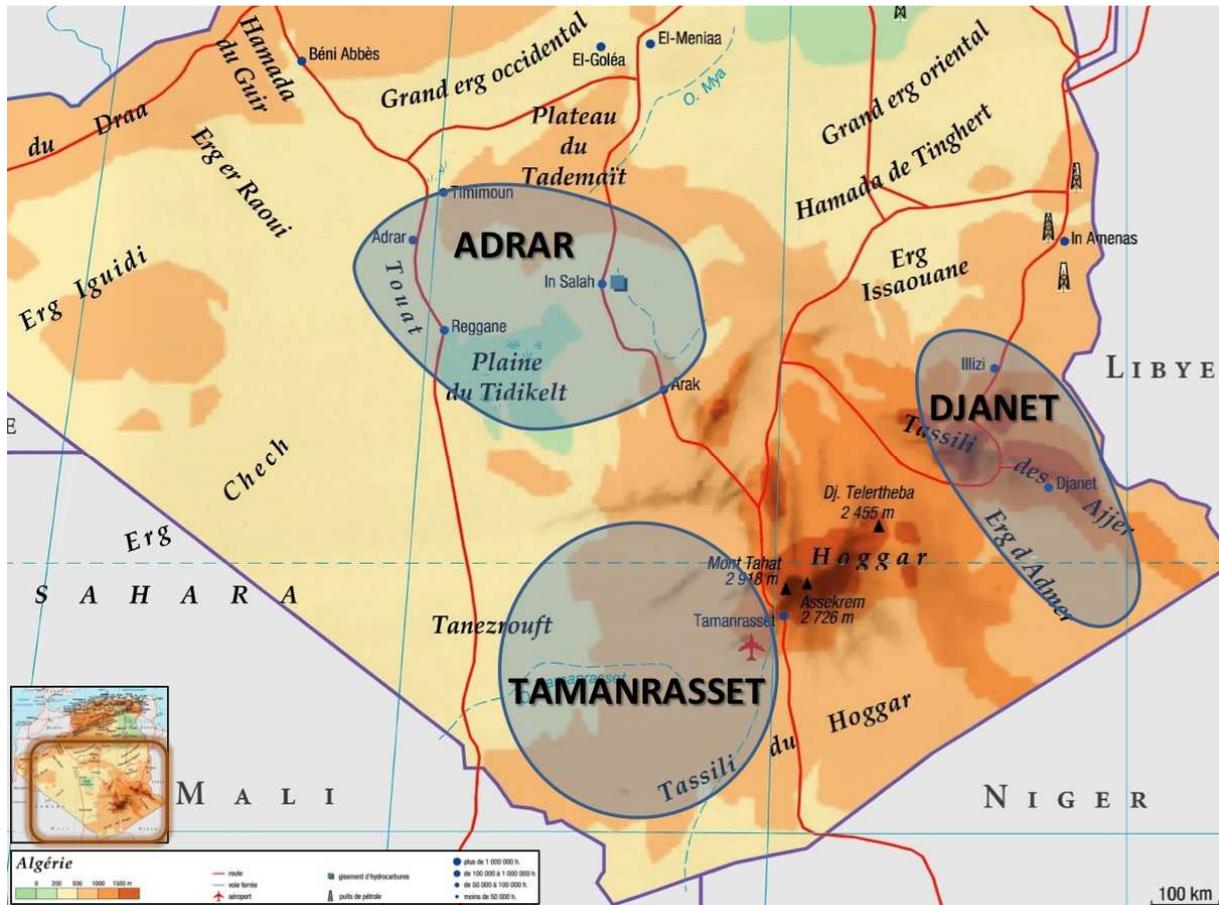


Figure 100 : Carte présentant les trois régions du Sud de l’Algérie considérées dans l’étude.

La collecte des données

Les données sont collectées à partir des prospections régulières réalisées, dans le sud algérien, au niveau des zones abritant des foyers de reproduction du Criquet pèlerin. Les zones potentiellement favorables au criquet sont prospectées selon une procédure et une méthodologie standardisées (Cressman 2001). Les informations collectées concernent les coordonnées géographiques du site d’observation, des données sur les criquets – densité, comportement, état de développement... - ainsi que sur l’environnement – végétation, humidité du sol... Les informations de terrain sont stockées au niveau d’une base de données centrale, RAMSES (Reconnaissance and Monitoring System of the Environment of Schistocerca), installée par la FAO-DLIS (Desert Locust Information Service) dans tous les pays concernés par la prévention contre les invasions (Cressman & Hodson, 2009).

Les données utilisées pour cette étude sont extraites de la base RAMSES algérienne hébergée à l’Institut National de la Protection des Végétaux (INPV) à Alger (voir également chapitre 2). Cette base regroupe plus de 39000 enregistrements sur les observations acridiennes et écologiques collectées au cours des prospections de terrain sur une période de 48 années, de

1965 à 2013. Les données météorologiques couvrant la même période ont été récupérées du Centre Régional de veille acrido-météorologique de Tamanrasset. Néanmoins, pour des raisons de constance dans la quantité et qualité des données ainsi que de continuité au fil des ans, nous avons sélectionné les informations de 1980 à 2011. Pour chacune des trois régions d'étude 5 variables ont été retenues, 2 variables acridiennes : total annuel de signalisations d'imagos de criquets pèlerins solitaires (signalisations de solitaires), total annuel de signalisations d'imagos de criquets pèlerins transiens (signalisations de transiens), et 3 variables environnementales : cumul total annuel de pluies (hauteur de pluie), nombre annuel de mois durant lesquels de la pluie a été enregistrée (nombre de mois pluvieux), et proportion annuelle de signalisations où de la végétation verte a été observée (végétation verte).

L'analyse des données

L'objectif de l'étude était de mieux comprendre, sur la période étudiée de 31 années, les facteurs influant sur le développement des populations acridiennes. Dans un premier temps, pour chaque série de données temporelle, nous avons effectué une analyse d'autocorrélation. Comme une seule série présentait une autocorrélation temporelle faiblement significative, nous avons ensuite effectué des analyses de corrélations entre variables en excluant les années de présence d'essaims dans la zone d'étude. Nous avons ainsi calculé une matrice de corrélation des rangs de Spearman et effectué des tests de significativité pour chaque coefficient de corrélation calculé en utilisant : les variables acridiennes des trois régions (2 x 3 variables) ; les variables environnementales annuelles (pluies et proportion de sites avec de la végétation verte : 3 x 3 variables) ; les variables acridiennes des trois régions avec un décalage temporelle d'une année pour explorer les effets interannuels (2 x 3 variables). Nous avons ainsi utilisé, dans l'analyse de corrélation, un total de 21 variables sous forme de série temporelles. En suivant la correction de Bonferroni pour les tests multiples, nous avons retenu deux seuils de significativité de P en considérant 1) le nombre de combinaisons possibles entre les 21 variables et 2) celles ayant un intérêt pour l'étude (69, voir annexe 1) : $P_1 = \frac{0.05}{\sum_{i=1}^{20} i} = 0.00023$ et $P_2 = \frac{0.05}{69} = 0.00072$.

Les séries temporelles de signalisations de criquets solitaires ou transiens présentent des pics importants certaines années mais aucune autocorrélation temporelle n'est observée (Fig 101, Tableau 14). Les séries temporelles concernant la végétation verte, la hauteur de pluie et le nombre de mois pluvieux ont aussi des comportements assez erratiques, pour les trois régions, sans structure particulière entre 1980 et 2011 (Fig. 101).

Aucune de ces séries temporelles de facteurs environnementaux n'est corrélée significativement avec les séries d'informations acridiennes aux seuils de significativité choisis (Tableau 14). Dans la région de Tamanrasset, une corrélation non-significative aux seuils choisis peut être observée entre les signalisations de solitaires et la végétation verte ($p = 0.0394$, $r=0.3987$, Tableau 14). De même, dans la région d'Adrar, une corrélation non-significative aux seuils choisis est observée entre les signalisations de solitaires et le nombre de mois pluvieux ($p = 0.0347$, $r=0.4004$, Tableau 14).

Dans la région d'Adrar, une corrélation positive significative est observée entre les signalisations de solitaires et de transiens (Fig. 102, $p = 0.0001$, $r = 0.6664$, Tableau 14). Dans la région de Djanet, aucune corrélation n'est observée entre les données acridiennes (Tableau 14) et dans celle de Tamanrasset les tests montrent l'existence d'une corrélation annuelle positive hautement significative entre les signalisations de solitaires et de transiens (Fig. 102, $p < 0.0001$, $r = 0.7180$, Tableau 14).

Entre les régions d'Adrar et de Tamanrasset quatre corrélations positives ont été observées comme significatives (Fig. 102, Tableau 14) : 1) entre les solitaires d'Adrar et les transiens de Tamanrasset ($p = 0.0001$, $r = 0.6908$) ; 2) entre les transiens des deux régions ($p = 0.0001$, $r = 0.6846$) ; 3) entre les solitaires des deux régions ($p = 0.0006$, $r = 0.6182$) ; et 4) entre les transiens d'Adrar d'une année et les transiens de Tamanrasset l'année suivante ($p = 0.0003$, $r = 0.6679$).

Pour la région de Djanet une seule corrélation positive a été observée comme significative entre les solitaires de Djanet et les transiens d'Adrar (Fig. 102, $p = 0.0007$, $r = 0.6025$, Tableau 14).

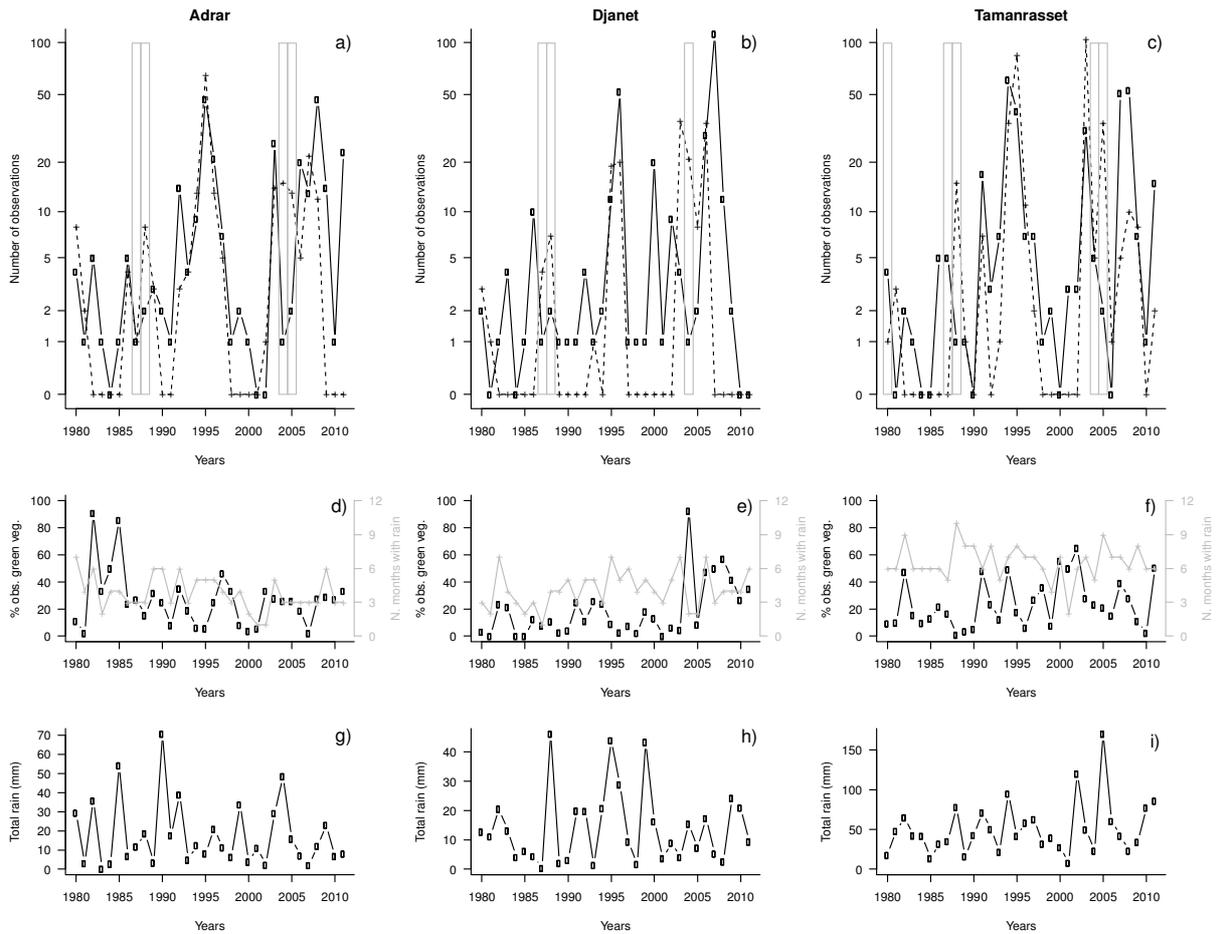


Figure 101 :Séries temporelles des données utilisées dans l'étude pour les trois régions (organisées par colonnes).

a) b) et c) nombres (en échelle log) d'observations annuelles de criquets pèlerin solitaires (ligne continue et cercles) et transiens (ligne en tirets et croix) ainsi que les années durant lesquelles des essaims ont été observés dans la région (rectangle gris) ; d) e) et f) pourcentage des prospections rencontrant de la végétation verte (ligne continue et cercles) et nombres de mois ayant reçu de la pluie (ligne en tirets et croix grises) ; g) h) et i) cumul total annuel de la pluviométrie.

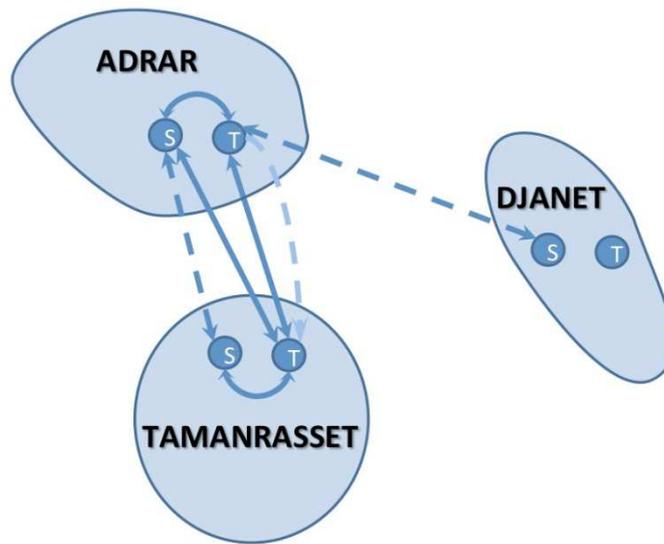


Figure 102 :Résumé des corrélations significatives entre les nombres d'observations de solitaires (S) et de transiens (T) des trois régions considérées.

Les flèches continues montrent les corrélations significatives à $P < 0.00023$. Les flèches en discontinues montrent les corrélations significatives à $P < 0.00072$. La flèche en gris clair unidirectionnelle montre une corrélation avec décalage temporel d'une année.

Tableau 14. Matrice de corrélation de Spearman (rang) entre les variables considérées dans l'étude.

La moitié haute de la matrice présente les valeurs de P des tests de significativité, la moitié basse présente les valeurs des coefficients de corrélation de Spearman (sur les rangs).

Code des noms de variables : première lettres T = Tamanrasset, D= Djanet, A = Adrar ; deuxième lettres S= nombre d'observation de solitaires, T=nombre d'observation de transiens, M=nombre de mois de pluies dans l'année, P= cumul du total des pluies dans l'année, V=proportion de sites observés avec de la végétation verte. Variable suivis d'un 1= variable décalée d'un pas de temps (e.g. année 1 de AS1 est 1981 alors que l'année 1 de AS est 1980).

Code couleurs : fond gris-texte gras = corrélation significative à $P < 0.00023$; fond gris-texte italique=corrélation significative à $P < 0.00072$; texte gris=corrélation entre paires de variables ne présentant pas d'intérêt pour l'étude.

	TS	DS	AS	TS1	DS1	AS1	TT	DT	AT	TT1	DT1	AT1	TM	DM	AM	TP	DP	AP	TV	DV	AV
TS		0.0854	<i>0.0006</i>	0.1451	0.1755	0.0152	0.0000	0.6425	0.0013	0.0224	0.0731	0.0479	0.7199	0.4452	0.8086	0.3120	0.5229	0.4602	0.0394	0.0154	0.3375
DS	0.3373		0.0109	0.0773	0.2157	0.2012	0.1311	0.1062	<i>0.0007</i>	0.0128	0.1053	0.0091	0.0881	0.3676	0.5794	0.8843	0.3667	0.7824	0.2205	0.1134	0.1516
AS	<i>0.6182</i>	0.4735		0.1612	0.3660	0.1213	0.0001	0.0286	0.0001	0.0368	0.4019	0.1533	0.0073	0.0045	0.0347	0.4329	<i>0.2512</i>	0.0829	0.9333	0.0103	0.8895
TS1	0.3066	0.3525	0.2890		0.0854	0.0006	0.2233	0.5652	0.0352	0.0000	0.6425	0.0013	0.7339	0.2198	0.3211	0.4788	0.7037	0.6856	0.1892	0.0487	0.1891
DS1	0.2860	0.2512	0.1888	0.3373		0.0136	0.3130	0.2494	0.1674	0.1311	0.1289	0.0009	0.9155	0.8406	0.3092	0.5519	0.9018	0.7173	0.0301	0.4069	0.1470
AS1	0.4897	0.2591	0.3180	0.6182	0.4688		0.0087	0.1971	0.0031	0.0001	0.0263	0.0001	0.6976	0.6998	0.5387	0.0182	0.6787	0.4548	0.5248	0.0726	0.3212
TT	0.7180	0.2980	0.6908	0.2581	0.2150	0.5235		0.0051	0.0001	0.0796	0.4200	0.0844	0.1536	0.4664	0.1462	0.3461	0.3124	0.5721	0.7640	0.1526	0.0875
DT	0.0936	0.3062	0.4138	0.1182	0.2342	0.2614	0.5236		0.0009	0.0787	0.1652	0.0113	0.3580	0.2571	0.3334	0.6238	0.5467	0.6249	0.1827	0.5180	0.1054
AT	0.5868	<i>0.6025</i>	0.6664	0.4228	0.2850	0.5678	0.6846	0.5918		<i>0.0003</i>	0.0240	<i>0.0022</i>	0.1543	0.3598	0.2323	0.7929	0.9460	0.8720	0.9814	0.5114	0.1053
TT1	0.4640	0.4812	0.4196	0.7180	0.2980	0.6908	0.3648	0.3510	<i>0.6679</i>		0.0051	0.0001	0.6411	0.2387	0.9017	0.1876	0.9923	0.7751	0.8010	0.0614	0.2027
DT1	0.3724	0.3249	0.1753	0.0936	0.2940	0.4270	0.1726	0.2805	0.4499	0.5236		0.0020	0.5128	0.6027	0.7119	0.1737	0.4072	0.5005	0.1431	0.8713	0.8257
AT1	0.4079	0.5011	0.2943	0.5868	0.6007	0.6695	0.3596	0.4889	<i>0.5840</i>	0.6846	0.5687		0.6400	0.8389	0.5398	0.1456	0.4761	0.9962	0.2071	0.4221	0.1706
TM	0.0724	0.3224	0.4956	0.0686	0.0210	0.0784	0.2823	0.1771	0.2765	0.0940	0.1290	0.0943		0.0455	0.0061	0.0170	0.0567	0.2865	0.5445	0.9535	0.5878
DM	0.1533	0.1737	0.5209	0.2441	0.0398	0.0778	0.1463	0.2175	0.1799	0.2347	0.1028	0.0410	0.3560		0.2126	0.1075	0.1642	0.7357	0.7446	0.3669	0.1971
AM	0.0489	0.1074	0.4004	0.1984	0.1993	0.1237	0.2873	0.1863	0.2333	0.0249	0.0730	0.1234	0.4741	0.2265		0.8528	0.2533	0.0017	0.0212	0.2150	0.3355
TP	0.2021	0.0283	0.1544	0.1423	0.1174	0.4510	0.1886	0.0951	0.0519	0.2615	0.2646	0.2877	0.4190	0.2899	0.0341		0.0122	0.9627	0.4122	0.2889	0.6267
DP	0.1285	0.1740	0.2243	0.0767	0.0244	0.0835	0.2019	0.1167	0.0134	0.0019	0.1630	0.1432	0.3403	0.2520	0.2080	0.4380		0.1152	0.4267	0.0835	0.2436
AP	0.1484	0.0536	0.3335	0.0816	0.0716	0.1501	0.1138	0.0948	0.0319	0.0577	0.1328	0.0010	0.1944	0.0621	0.5315	0.0086	0.2840		0.3990	0.9103	0.4918
TV	0.3987	0.2346	0.0166	0.2606	0.4103	0.1279	0.0606	0.2545	0.0046	0.0509	0.2840	0.2508	0.1112	0.0599	0.4058	0.1501	0.1456	0.1543		0.2373	0.9499
DV	0.4614	0.3003	0.4767	0.3829	0.1631	0.3510	0.2830	0.1251	0.1295	0.3648	0.0321	0.1611	0.0107	0.1650	0.2253	0.1934	0.3107	0.0207	0.2150		0.5062
AV	0.1920	0.2732	0.0275	0.2607	0.2813	0.1984	0.3351	0.3069	0.3126	0.2531	0.0436	0.2715	0.0995	0.2341	0.1759	0.0894	0.2122	0.1261	0.0116	0.1219	

4. Discussion

Beaucoup de travaux ont été réalisés dans le passé sur la caractérisation des biotopes du criquet pèlerin en particulier par utilisation de données de télédétection spatiale. Ces travaux ont généralement été basés sur des tentatives de cartographie du tapis végétal (voir par exemple Dreiser et al., 2014). Cette cartographie s'est, cependant, avérée délicate et coûteuse. En effet, en zone saharienne, la végétation est difficile à repérer du fait d'un recouvrement faible et d'un spectre souvent non caractéristique (Escadafal et Huete, 1991). Par ailleurs, les étendues des zones végétalisées sont variables d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre selon les conditions pluviométriques, donnant à toute tentative de cartographie un caractère éminemment éphémère, ne pouvant constituer qu'une image à un instant donné. Il nous a donc semblé plus utile de s'affranchir de la végétation et de rechercher les corrélations entre les zones de reproduction des criquets pèlerins solitaires et des entités géomorphologiques identifiables au moyen de l'imagerie satellitaire.

Dans cette optique, l'utilisation conjointe, avec les données de télédétection (en particulier des images Landsat 7 ETM+), des données acridiennes de la base RAMSES cumulées sur 43 années d'observations (1965-2008), s'est révélée fondamentale pour cartographier les zones principales de reproduction du criquet pèlerin en phase solitaire. Ce sont ces données acridiennes qui ont permis de hiérarchiser les différentes zones en fonction de leur intérêt pour le criquet pèlerin et de se concentrer sur les seules zones d'intérêt majeur dans le cadre d'une gestion préventive de cette espèce. Il s'agit essentiellement, pour la région étudiée dans le Hoggar, des oueds aux sols sablo-limoneux ou limono-argileux, offrant au criquet pèlerin des conditions très propices à la reproduction en cas de pluie ou d'écoulement des eaux. Ces oueds, liés à la reproduction du criquet, ont pu être parfaitement cartographiés grâce aux divers traitements appliqués aux images Landsat 7 ETM+.

L'échelle retenue rend les résultats opérationnels. Ils peuvent constituer une base cartographique des zones potentielles de ponte à surveiller en priorité, surtout dans le cas où des conditions écologiques favorables se développent. Ces résultats pourront être utilisés dans un système d'information géographique comme une couche de base statique des habitats potentiellement favorables sur laquelle pourront être superposées les informations dynamiques concernant en particulier la phénologie de la végétation ou les pluies (FAO 2012, Pekel et al. 2011). Ainsi, les zones favorables à l'activité acridienne pourront être mieux

délimitées en temps réel, permettant aux équipes de surveillance et de lutte de détecter et détruire les premières pullulations limitant ainsi les risques de départ d'invasion.

Les résultats obtenus montrent que les solitaires et transiens sont régulièrement présents au niveau des trois régions de Tamanrasset, Adrar et Djanet. Aussi, les corrélations observées montrent que d'un point de vue dynamique des populations de criquet pèlerin, les régions de Tamanrasset et Adrar sont complémentaires et étroitement liées annuellement et au travers des années. Par contre, la région de Djanet à l'air de fonctionner plus indépendamment des autres régions.

Nous avons vu qu'il est difficile de mettre en évidence des relations entre les pluies et les observations de criquet à l'échelle de l'année pour les trois régions. Ces résultats vont dans le sens des travaux réalisés par Sitouh (1974) et Popov (1997) qui ont montré que l'activité acridienne au niveau du Hoggar, Sahara central et Sahara oriental est liée étroitement aux ruissellements en provenance des sommets montagneux durant les périodes de pluies. Les zones potentielles de reproduction du criquet pèlerin dans les régions considérées dans notre étude sont en grande partie alimentées par les écoulements provoqués par les pluies au niveau du massif du Hoggar et du Tassili des Ajjer. La moyenne annuelle de la station d'Assekrem située dans le massif du Hoggar avoisine celle du Tassili des Ajjer (123 mm). Par contre à Tamanrasset même, la moyenne annuelle de pluies ne dépasse pas les 51 mm. La région d'Adrar est classée parmi les régions les plus chaudes et les plus arides du sud algérien avec une moyenne annuelle des pluies ne dépassant guère 16 mm par an. L'apport en eau provient majoritairement de l'irrigation des périmètres agricoles au centre de la région et des ruissellements en provenance de la partie nord du massif du Hoggar. Ces périmètres agricoles assurent le développement de la végétation verte durant plusieurs mois et permettent ainsi au criquet de trouver des conditions écologiques favorables pour son développement. A Djanet, la moyenne annuelle des pluies sur 41 ans est de 16 mm, ce qui est aussi très faible. Les oueds de cette région susceptibles d'abriter les populations acridiennes sont approvisionnés en eau essentiellement à partir des sommets du massif du Tassili des Ajjer.

De la même manière, aucune corrélation à l'échelle de l'année entre les observations acridiennes et la proportion de végétation verte n'a été observée. Cela peut sous-entendre que les criquets peuvent rester en place après le dessèchement de la végétation, et que certaines années vertes ne voient pas de développement de criquets. Au niveau des zones désertiques, les espèces annuelles accomplissent leur cycle de développement durant une courte durée et

les pérennes se reverdissent durant les périodes humides. Par exemple, la durée du cycle de développement des deux espèces végétales annuelles les plus appréciées par les criquets varie entre six semaines pour le *Tribulus mollis* et cinq mois pour le *Schouwia thebaica* (Popov, 1997). Ainsi, suivant le type de biotope dans lequel l'eau de pluie tombe ou ruisselle, la persistance des conditions favorables aux criquets pèlerin est très variable. Cette grande variabilité participe au manque de généralisation de la relation végétation-criquets sur des échelles spatiales étendue et à un pas de temps annuel comme dans notre étude.

Ces résultats mettent en perspectives les idées reçues que les années « vertes » ou « pluvieuses » sont des années à criquets. Ces relations, bien établis à des échelles spatiales et temporelles plus fines ne sont pas conservées lorsque l'on travaille à des échelles spatiales régionales et des pas de temps annuels. L'absence de corrélation entre les solitaires et les conditions environnementales au niveau de ces régions peut aussi être lié au fait que des populations acridiennes solitaires pourraient exister toute l'année dans certaines zones. Ces individus plus ou moins sédentaires ne participeraient pas au mouvement annuel durant les périodes de reproduction entre les différentes zones. Cela nécessiterait d'être confirmé, car des études récentes de génétique de population montrent que les populations solitaires de toute l'Afrique saharienne ont beaucoup d'échanges entre elles (Chapuis *et al.* 2014). Ces auteurs ont, cependant, également noté la possibilité d'accidents démographiques localisés, notamment dans la région de Tamanrasset, sans doute liés à l'irrégularité des pluies (par ex. début de reproduction lié à un événement pluvieux bref mais ne permettant pas d'assurer l'ensemble du développement d'une génération). Mais les échanges semblent d'une telle ampleur que les traces de ces accidents démographiques sont rapidement effacées. Quoi qu'il en soit, la région présente presque toujours des observations de criquets solitaires et constitue donc une zone d'habitat permanent, que les populations puissent s'y reproduire ou non.

Les corrélations positives significatives entre les solitaires et les transiens au sein des régions de Tamanrasset et d'Adrar confirment que ces zones de reproduction sont aussi des zones de grégarisation importantes à suivre et à prospecter. La différence avec la région de Djanet, qui ne présente pas cette corrélation solitaires-transiens, indique que cette région, même si elle peut être zone de grégarisation, doit aussi recevoir des groupes de criquets déjà grégarisés en provenance d'autres régions. C'est ce qui s'est passé notamment en 2012 avec des groupes provenant de la frontière Libyenne.

Nous avons aussi vu que les observations de solitaires et de transiens au niveau de Tamanrasset et d'Adrar sont fortement liées annuellement et temporairement. Ces fortes liaisons démographiques et le manque de lien fort avec les données environnementales laisse penser que les régions de Tamanrasset et Adrar doivent être liés par des flux migratoires d'individus solitaires et transiens. L'existence de couloirs de passage entre les montagnes (Hoggar, Ahnet, Mouydir) et plusieurs oueds à cheval entre le nord de Tamanrasset et le sud d'Adrar permettent aux populations acridiennes solitaires et transiens qui volent à basse altitude de réaliser le trajet annuel entre les zones de reproduction estivale situées au niveau de la bande sahélienne et celles du Sahara central algérien en automne. Les vagues de populations acridiennes en provenance des pays sahéliens qui arrivent à Tamanrasset au début de l'automne peuvent donc atteindre la région d'Adrar la même année.

Là encore, pour la région de Djanet, l'absence de liaisons avec les autres régions montre que cette région fonctionne différemment. L'absence de connexion directe entre Tamanrasset et Djanet est certainement liée à l'existence de deux grandes chaînes montagneuses (Hoggar et Tassili des Ajjer) qui séparent les deux régions et empêche le passage direct des populations acridiennes. Aussi, la liaison observée entre les transiens d'Adrar et les solitaires de Djanet permet de faire l'hypothèse que des migrations d'individus passant de Djanet vers Adrar en fin d'été peuvent augmenter les effectifs des populations vers une grégarisation dans la région d'Adrar.

Les résultats obtenus nous ont permis de confirmer des observations empiriques sur la dynamique des populations au niveau du sud algérien. L'étude de corrélation au sein de chaque région et intra-régions nous a permis d'identifier la complémentarité existant entre trois régions potentielles de reproduction du criquet pèlerin en Algérie. Aussi, le fait que la situation acridienne annuelle ne soit pas liée à la situation globale de la végétation et aux cumuls annuels de pluies renforce l'idée qu'il faut un système préventif adaptable et évolutif au cours de chaque année.

Finalement, au plan de l'alimentation, le régime des populations acridiennes de deux stations étudiées n'est pas très varié. Les criquets se contentent de quelques espèces végétales. Les mêmes résultats ont été observés par Doumandji-Mitiche *et al.* (1996) en comparant le régime alimentaire du criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, à Adrar et Tamanrasset. A Tamanrasset les femelles n'ont consommé que 8 espèces végétales et les mâles seulement 6. Pour ces auteurs, ce régime alimentaire peu varié est le résultat du fait que les individus solitaires ne se

déplacent pas le jour. Cependant, plusieurs études ont montré que le criquet pèlerin dans son milieu naturel a des préférences alimentaires très variées. Les espèces végétales les plus consommées appartiennent aux genres *Schouwia*, *Boerhavia*, *Tribulus*, *Fagonia* et *Panicum* (Ghaout 1990, Darling 1934, Zolotarevsky et Murat 1938 in Popov 1997 ; Kara 1997 et Khider 1999). Récemment il a été montré, également dans le sud algérien, que le Criquet pèlerin présente de nettes préférences alimentaires par rapport à la gamme des espèces présentes dans son environnement. Les plantes les plus appréciées sont généralement celles qui lui permettent le meilleur développement et la meilleure reproduction (Guendouz Benrima *et al.*, 2010). Enfin, il existe d'autres espèces végétales qui ne présentent aucun intérêt trophique pour le criquet pèlerin comme les végétaux répulsifs, les plantes-hôtes refuges non consommées et les plantes toxiques (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994).

Conclusion et perspectives

Cette étude sur le criquet pèlerin en Algérie a permis de vérifier et de confirmer des informations empiriques sur le comportement de cet insecte durant les périodes de rémission, de recrudescence et d'invasion par l'utilisation d'une base de données cumulées sur 43 années d'observations au niveau du sud algérien.

Les résultats obtenus ont montré que les zones de reproduction des solitaires en période rémission sont limitées au Hoggar, Adrar et Tassili. La région du Hoggar abrite l'essentiel de ces zones. Les transiens se reproduisent en période de recrudescence au niveau d'une grande zone saharienne située au sud du 32^{ème} parallèle. Les femelles solitaires et transiens pondent au niveau des oueds à la faveur de la présence de conditions écologiques favorables notamment l'humidité de sol et la végétation verte. La reproduction des solitaires et les transiens au niveau du sud algérien est essentiellement printanière répartie durant les mois de février, mars et avril. Par conséquent, l'émergence et le développement de larves solitaires et transiens sont essentiellement réalisés durant la période printanière.

La présence annuelle des ailés solitaires au niveau du sud algérien est plus marquée durant les périodes printanière, automnale et hivernale. Cependant, durant la période estivale le niveau de présence acridienne est faible. L'installation de conditions écologiques favorables (humidité de sol et végétation verte) débutent généralement avec les premières pluies estivales, automnales et printanières. Malgré la présence de plusieurs espèces végétales au niveau des biotopes de reproduction des solitaires, leur régime alimentaire est peut diversifier.

Pour la relation entre les conditions écologiques et la présence acridienne, à l'échelle de l'année entre les observations acridiennes et la proportion de végétation verte aucune corrélation n'a été observée.

Des corrélations positives significatives ont été observées entre les solitaires et les transiens au sein des régions de Tamanrasset et d'Adrar. Cependant, au niveau de la région de Djanet, qui ne présente pas cette corrélation solitaires-transiens,

A l'échelle de l'inter régions de solitaires et de transiens au niveau de Tamanrasset et d'Adrar sont fortement liées annuellement et temporairement.

Ces nouvelles données vont permettre sur le plan opérationnel, aux services de lutte antiacridienne en Algérie d'apporter les corrections nécessaires à la stratégie de lutte

préventive contre le criquet pèlerin, notamment concernant les périodes de surveillance et le nombre d'équipes à mobiliser en fonction des régions afin de cibler les zones d'intervention au moment opportun et ainsi protéger l'environnement contre l'utilisation excessive de pesticides et réduire les couts élevés des campagnes de surveillance et de lutte.

La méthode de la cartographie des zones de reproduction devrait pouvoir être généralisée à l'ensemble des aires grégarigènes d'Algérie et sans doute aux autres pays de la région renfermant des aires grégarigènes, en particulier Libye, Mauritanie, Mali, Niger et Tchad. Tous ces pays disposent des bases de données acridiennes nécessaires (souvent plusieurs décennies d'observations) permettant de localiser les zones à haute fréquence de reproduction de populations solitaires. Les images Landsat étant disponibles gratuitement, cette généralisation devrait pouvoir être effectuée à moindre coût. Naturellement, de futurs changements climatiques pourront à l'avenir faire évoluer sensiblement la localisation de ces biotopes favorables et il conviendra de rester vigilant sur cet aspect.

L'extrapolation de la méthode à une zone plus vaste risque cependant de poser quelques difficultés qui devront être surmontées. En effet, les données acridiennes d'archive ont montré que si 81% des femelles déposaient leurs pontes dans les oueds ou à leurs abords (ce sont ces oueds qui ont fait l'objet de la présente étude), il reste 9% des pontes déposées dans d'autres milieux, qui n'ont pu être caractérisés en première approche, et auxquels il conviendra de porter attention dans le futur. Le même problème risque de se poser en cas d'extrapolation de la méthode à d'autres régions. Il conviendra également, pour ces nouvelles régions, de vérifier si l'on peut y associer les zones de haute fréquence de reproduction des populations solitaires avec des entités géomorphologiques facilement identifiables par télédétection (oueds ou autres). On risque d'aboutir à certaines limites, mais l'objectif n'est pas tant de cartographier l'ensemble de ces zones que de se limiter aux principales afin de pouvoir agir plus rapidement en focalisation mieux le travail de prospections sur les sites potentiellement les plus importants.

Pour déterminer avec précision la relation entre la présence acridienne et les conditions écologiques, une étude à l'échelle mensuelle devrait être réalisée au niveau de plusieurs zones de fortes activités acridiennes.

Références bibliographiques

- 1- **ALLAL- BENFEKIH L., 1993**-Données préliminaires sur la sauterelle marocaine *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815), (Orthoptera, Gomphocerinae) dans la région de Ain boucif (W. Médéa), Thèse de magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, Alger, 129 p.
- 2- **ALLAL- BENFEKIH L., 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. Doc. Sci. Tech. Sant., Inst. Nat. Agro., El Harrach, 140p.
- 3- **AOUISSI K., 1991**-Contribution à l'étude du régime alimentaire du faucon lanier dans la région de Timimoun (Adrar), Thèse Ing. Agro, INES Agro. Blida, 48p.
- 4- **BENHALIMA T., GILLON Y., LOUVEAUX A., 1984**-Utilisation des ressources trophiques par *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Orthoptera, Acrididae), *Acta oecologia, oecol. gener*, **5**(4), 383-406.
- 5- **BENHALIMA T., GILLON Y., LOUVEAUX A., 1985**-Spécialisation trophique individuelle dans une population de *D. maroccanus* (Orthoptera, acrididae), *Acta oecologia, oecol. gener*, **6**(1), 17-24.
- 6- **BINARD M., 2000**-Les spatio-cartes de l'occupation du sol, *Bulletin de la Société Géographique de Liège* **38**(1), 63-78.
- 7- **BONNEFON R., 2002**- "Extraction d'objets cartographiques à partir d'images de télédétection : possibilité d'application à la mise à jour de Systèmes d'Information Géographique," Thèse de Doctorat de l'université Paul Sabatier, Toulouse, France.
- 8- **Brader L., Djibo H., Faye F.G., Ghaout S., Lazar M., Nguala P.M., Ould Babah M.A., 2006**-Towards a more effective response to Desert Locusts and their impacts on food insecurity, livelihoods and poverty. Independent multilateral evaluation of the 2003-05 Desert Locust campaign," Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 9- **BRYCESON K.P., HUNTER D.M., HAMILTON J.G., 1993**-Use of remotely sensed data in the Australian Plague Locust Commission, in *Pest control and sustainable agriculture*, S. A. Corey, D. J. Dall, W. M. Milne, Eds., , CSIRO, Melbourne, Australie. pp. 435-439
- 10- **CECCATO P., 2005**-Operational early warning system using SPOT-VGT and TERRAMODIS to predict Desert Locust outbreaks, in *Proceedings of the 2nd VEGETATION International Users Conference, 24-26 March 2004. Antwerpen, F. Veroustraete, E.*

Bartholomé, W.W. Verstraeten, Eds., Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg.

11- CECCATO P., CRESSMAN K., GIANNINI A., TRZASKA S., 2007 -The Desert Locust upsurge in West Africa (2003-2005): Information on the Desert Locust early warning system, and the prospects for seasonal climate forecasting, *International Journal of Pest Management* **53**(1), 7-13.

12- CHAOUCH A., 1994-*Contribution à l'étude du régime alimentaire de Dociostaurus maroccanus (Thunb, 1815) (Orthoptera, Acrididae) dans la région de Ain Boucif Wilaya de Médéa*, Thèse Ing. Agro. INES, Agro. Blida, 39p.

13- CHAPUIS M.P., PLANTAMP C., BLONDIN L., PAGÈS C., LECOQ M., 2014- Demographic processes shaping genetic variation of the solitary phase of the desert locust, *Molecular Ecology* **2**. DOI:10.1111/mec.12687.

14- CHARA B., 1984-*Régimes alimentaires et production des oeufs des acridiens dans la nature. Introduction aux méthodes d'étude*, Mémoire D.E.A. Univ. d'Aix-Marseille III, France, 51p.

15- CHARA B., 1987-*Etude comparée de la biologie et de l'écologie de Calliptamus barbarus (Costa, 1936) et Calliptamus wattenwyllyanus (Pantel, 1896) dans l'ouest Algérien*, Thèse docteur ingénieur, Université Aix-marseille, France.

16- CHARA B., 1998-*Organisation de la lutte antiacridienne en Algérie. Historique et évolution des moyens*, " CLCPANO, Alger.

17- CHERLET M.R., DI GREGORIO A., HIELKEMA J.U., 1991-Remote-sensing applications for desert-locust monitoring and forecasting, *EPPO Bulletin* **21**(3), 633-642.

18- CRESSMAN K., 2001-*Directives sur le Criquet pèlerin. 2. Prospection*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

19-CRESSMAN K., HODSON D., 2009-Surveillance, information sharing and early warning systems for transboundary plant pests diseases: The FAO experience, *Arab Journal of Plant Protection* **27**, 226-232.

- 20- DJEMAI S., BENDAOU D., HADDOUM H., OUZEGANE K., KIENAST J-R., 2009-***L'apport de l'image Landsat ETM+ pour la cartographie géologique des terrains archéens en zone aride*, Journées de l'animation scientifiques de l'AUF, Alger.
- 21-DOUMANDJI S.E., DOUMANDJI-MITICHE B., 1994-** Criquets et Sauterelles(Acridologie), Off. Publ. Univ. Alger.
- 22- DOUMANDJI-MITICHE B., DOUMANDJI S. E., Kara F.Z., OUCHENE D., MEHENNI M., 1996-**Comparaison du régime alimentaire de la sauterelle pèlerine *Schistocerca gregaria* à Adrar et à Tamanrasset (Sahara, Algérie),*Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent*, **61/3a**, pp. 745-751.
- 23- DREISER U., VOSS F., POPOV G., 1992-***Potential desert locust biotopes – Tokar delta (Sudan). Map sheet*, GTZ, Eschborn, Germany.
- 24- DREISER U., VOSS F., POPOV G., 1993-** *Principaux biotopes du criquet pèlerin dans l'Adrar des Iforhas (Mali). Map sheet*, " GTZ, Eschborn, Germany.
- 25- DREISER U., VOSS F., POPOV G., 1993-** *Principaux biotopes du criquet pèlerin dans le nord du Tilemsi (Mali). Map sheet*, GTZ, Eschborn, Germany.
- 26- DREISER U., 1994-**Mapping of Desert Locust habitats in Africa using Landsat Thematic Mapper data, *GeoJournal* **32**(1), 55-60.
- 27- DREISER U., VOSS F., POPOV G., 1994-** *Principaux biotopes du criquet pèlerin dans la région d'Akjoujt – Atar (Mauritanie). Map sheet*, GTZ, Eschborn, Germany.
- 28- DUBIEF J., 1963-** *Le Climat du Sahara*, Institut de recherches sahariennes, Université d'Alger.
- 29- DUBIEF J., QUENEY P., 1935-**Les grands traits du climat du Sahara Algerien," *La Météorologie***11**, 80–91.
- 30- DURANTON J.F., FOUCART A., GAY P.E., 2012-**Florule des biotopes du Criquet pèlerin, CIRAD, Montpellier, France.
- 31- DURANTON J.F., LECOQ M., 1990-***Le Criquet pèlerin au Sahel*, Collection Acridologie Opérationnelle n°6. Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel, Département de Formation en Protection des Végétaux, Niamey.
- 32- ESCADAFAL R., HUETE A.R., 1991-**Étude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. *Comptes-*

rendus de l'Académie des Sciences de Paris 312, 1385-1391.

33- F.A.O., 1968-"*Desert Locust Project. Final Report,*" Report no. FAO/SF:34/DLC. Food and Agriculture Organization, Rome.

34- F.A.O., 1972-"*Projet relatif au Criquet pèlerin. Rapport complémentaire (juillet 1966-décembre 1970),*" Report No. FAO/SF:34/DLC. Food and Agriculture Organization, Rome .

35- F.A.O., 2012-"*Locust watch - Desert locust,*" Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Disponible sur <http://www.fao.org/ag/locusts/en/activ/DLIS/satel/index.html>

36- FOUCAULT A., RAOULT J.F., 2014-"*Dictionnaire de géologie,*" Dunod Ed., Paris, France.

37- GIRARD M.C, GIRARD C.M., 1999-"*Traitement des données de télédétection,*" Dunod, Paris.

38- GIRARD D.E., 2013-"*Documentation et interprétation physique de la variabilité intra-saisonnière de la mousson africaine; application à la prevision,*" Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse (INP), France.

39- GUENDOZ-BENRIMA A., DURANTON J.F., DOUMANDJI-MITICHE B., 2010-"*Préférences alimentaires de Schistocerca gregaria (Forsk., 1775) à l'état solitaire dans les biotopes du Sud Algérien,*" *Journal of Orthoptera Research***19**(1):7-14.

40- HAFRAOUI A., MCCULLOCH L., 1993-"*Present practices of controlling desert locust outbreaks,*" In: Atelier International de la FAO sur la recherche et la planification en matière de lutte contre le Criquet pèlerin tenu à Marrakech (Maroc). 24–28 May. Food and Agriculture Organization, Rome.

41- HIELKEMA J.U., 1977-"*Application of Landsat data in desert locust survey and control,*" Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

42- HIELKEMA J.U., ROFFEY J., TUCKER C.J., 1986-"*Assessment of ecological conditions associated with the 1980/81 desert locust plague upsurge in West Africa using environmental satellite data,*" *International Journal of Remote Sensing***7**, 1609-1622.

43- HIELKEMA J.U., 1991-"*Desert locust monitoring with satellite remote sensing,*" *ITC Journal* **4**, 387-417.

- 44- HUIS A. van, 2007-**"Locust control by early identification of breeding sites," in *Encyclopedia of Pest Management*1(1), 1-3. - ISNARD H., 1952-"*Le mécanisme du climat de l'ouest africain,*" In: *L'information géographique* 16(3), 98-100.
- 45- HUIS VAN A., CRESSMAN K., MAGOR J.I., 2007-**"Preventing desert locust plagues: optimizing management interventions," *Entomologia Experimentalis et Applicata*122, 191–214.
- 46- JAGO N.D., 1998-**"The world-wide magnitude of Orthoptera as pests,"*Journal of Orthoptera Research*7, 117–124.
- 47- KARA F.Z., 1997-**"*Etude de quelques aspects écologiques et régime alimentaire de Schistocerca gregaria (Forskål, 1779) (Orthoptera - Cyrtacanthacridinae) dans la région d'Adrar et en conditions contrôlées,*" Thèse de Magister en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique (INA), El-Harrach, Alger.
- 48- KHIDER B., 1999-**"*Biométrie, régime alimentaire et répartition des zones de reproduction du Criquet pèlerin, Schistocerca gregaria (Forskål, 1775) (Orthoptera - Cyrtacanthacridinae) au sud algérien,*" Thèse de Magister en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique (INA), El-Harrach, Alger.
- 49- KRALL S., PEVELING R., BA DIALLO D., 1997-**"*New Strategies in Locust Control,*" Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland.
- 50- KÜNCKEL D'HERCULAIS J., 1905-**"*Invasion des acridiens, vulgo sauterelles, en Algérie (1893–1905),*" Imprimerie administrative et commerciale Giralt. Gouvernement général de l'Algérie, Alger, 3 vols.
- 51- LATCHININSKY A.V., SIVANPILLAI R., 2010-**"Locust habitat monitoring and risk assessment using remote sensing and GIS technologies," pp. 163-188 in A. Ciancio, K.G. Mukerji (eds), 2010*Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases, Integrated Management of Plant Pest Pests and Diseases 5,* Springer Science+Business Media B.V. DOI 10.1007/978-90-481-8606-8_7
- 52- LATCHININSKY A.V., SIVANPILLAI R., DRIESE K.L., WILPS H., 2007-**"Can early season Landsat image improve locust habitat monitoring in the Amudarya River Delta, Uzbekistan," *Journal of Orthoptera Research,* 16, 167–173.
- 53- 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.

54- LECOQ M., 1978-"Biologie et dynamique d'un peuplement acridien de zone soudanienne en Afrique de l'Ouest (Orthoptera, Acrididae). " *Annls Soc. ent. Fr.* (N.S.) **14**(4), 603-681.

55- LECOQ M., 2001-"Recent progress in Desert and Migratory Locust management in Africa. Are preventative actions possible?" *Journal of Orthoptera Research***10**, 277–291.

56- LECOQ M., 2003-"Desert locust threat to agricultural development and food security and FAO/International role in its control," *Arab Journal of Plant Protection***21**, 188–193.

57- LECOQ M., 2004-"Vers une solution durable au problème du criquet pèlerin ?" *Science et changements planétaires / Sécheresse***15**(3), 217-224.

58- LECOQ M., 2005-"Desert locust management: from ecology to anthropology," *Journal of Orthoptera Research***14**, 179–186.

59- LECOQ M., 2012-"*Bioécologie du Criquet pèlerin*", FAO-CLCPRO (Commission de lutte contre le Criquet pèlerin en région occidentale), Alger.

60- LOCKWOOD J.A., SHOWLER A.T., LATCHININSKY A.V., 2001-"Can we make locust and grasshopper management sustainable?" *Journal of Orthoptera Research* **10**, 315–329.

61- MAGOR J.I., 1962-"*Rainfall as a factor in the geographical distribution of the Desert Locust breeding areas, with particular reference to the summer breeding area of India and Pakistan*," University of Edinburgh (PhD Thesis).

62- MAGOR J.I., 1993-"*Desert Locust forecasting GIS, a current technological challenge*," In: Proc., 9th Entomological Congress of the Entomological Society of Southern Africa. Johannesburg 28 June - 1 July 1993.

63- MAGOR J.I., CECCATO P., DOBSON H.M., PENDER J., RITCHIE L., 2005-"*Preparedness to prevent desert Locust plagues in the Central region, an historical review*," Report No. AGP/DL/DS/35. Desert Locust Technical Series. Food and Agriculture Organisation, Rome.

64- MAGOR J.I., LECOQ M., HUNTER D., 2008-"Preventive control and Desert Locust plagues," *Crop Protection* **27**(12), 1527-1533.

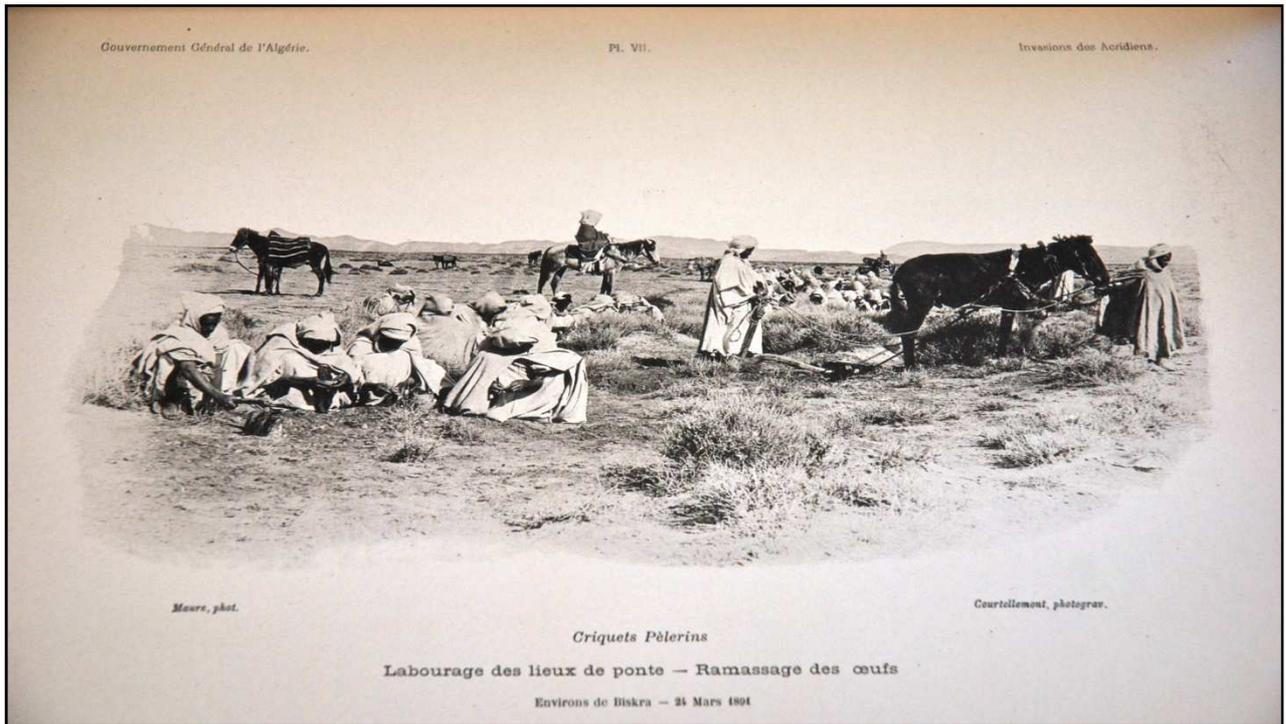
- 65- MIRANDA E.E., PIEROZZI JR. I., BATISTELLA M., DURANTON J.F., LECOQ M., 1994-**"Static and dynamic cartographies of the biotopes of the grasshopper *Rhammatocerus schistocercoides* (Rehn, 1906) in the state of Mato Grosso, Brazil," *SELPER, Technical review for ibero-american and worldwide integration***10**(3-4), 67-71.
- 66- PASQUIER R., 1952-**"Quelques propositions de terminologie acridologique concernant le comportement et l'aspect des Acrididae gregariaptes," *Ann. Inst. Afric. Algérie*, **6**, 16p.
- 67- PEDGLEY D.E., 1972-**"Use of satellites and radar in locust control in *Environmental remote sensing: application and achievements*," Centre for Overseas Pest Research, Overseas Development Administration, London, pp 145-152.
- 68- PEDGLEY D.E., 1974-**"ERTS surveys a 500 km² locust breeding site in Saudi Arabia." In *Third Earth Resources Technology Satellite – Symposium* (December 1973) S. C. Frieden, E. P. Mercanti & M. A. Becker (Eds.), Vol. 1, pp. 233–246). Maryland: NASA.
- 69- PEKEL J.-F., CECCATO P., VANCUTSEM C., CRESSMAN K., VANBOGAERT E., DEFOURNY P., 2011-**"Development and application of multi-temporal colorimetric transformation to monitor vegetation in the Desert Locust habitat," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **4**(2), 318-326.
- 70- PIOUS C., LEBOURGEOIS V., SIDI BENAHI A.S., BONNAL V., EL HACEN JAAVAR M., LECOQ M., VASSAL J.M., 2013-**"Coupling historical prospection data and a remote-sensing vegetation index for the preventative control of Desert Locust, " *Basic and Applied Ecology***14**, 93-604.
- 71- POPOV G.B., 1958-**"Note on the frequency and the rate of oviposition in swarms of the Desert Locust (*Schistocerca gregaria* Forskål)," *Entomol. Mon. Mag.* **94**, 176–180.
- 72- POPOV G.B., 1997-**"*Atlas of Desert Locust breeding habitats*," Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 73- POPOV G.B., DURANTON J.F., GIGAULT J., 1991-**"*Etude écologique des biotopes du criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forskål, 1775) en Afrique Nord-Occidentale : mise en évidence et description des unités territoriales écologiquement homogènes*," Collection les acridiens, CIRAD-PRIFAS, Montpellier, France.
- 74- RAO Y.R., 1942-**"Some results of studies on the Desert Locust (*Schistocerca gregaria* Forsk.), India. Bull. Ent. Res. **33**, 241-265.

- 75- REYNARD E., 2004-** "Paysage et géomorphologie: quelques réflexions sur leurs relations réciproques, " In: Droz Y., Miéville-Ott V. (Eds.). *La polyphonie du paysage*, Neuchâtel, Institut d'Ethnologie, Suisse.
- 76- ROFFEY J. , MAGOR J.I., 2003-**"*Desert locust population parameters*," Desert Locust Technical Series 30. Food and Agriculture Organization, Rome.
- 77- ROY J., 2001-** "*Histoire d'un siècle de lutte anti-acridienne en Afrique. Contributions de la France*," L'Harmattan, Paris, 294 pp.
- 78- SHOWLER A., 2003-**"The importance of armed conflict to Desert Locust control, 1986–2002," *Journal of Orthoptera Research***12**, 127–133.
- 79- SIDI BENAHI A.S., 2008-**"*Délimitation spatiale et temporelle des biotopes du Criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forskål, 1775) en Mauritanie (zone pilote de Grarat Levras)*," Master SILAT "Systèmes d'informations localisées pour l'aménagement des territoires", ENGREF/AGRO/IGN/INA-PG , Montpellier, Paris 47 p.
- 80- SITOUH M., 1976-**"Relations entre les crues et *Schistocerca gregaria* Forsk. en phase solitaire dans le Sahara central de 1967 et 1972," *Ann. Inst. Nat. Agron. (El Harrach)***4**, 33-83.
- 81- SKAF R., POPOV G.B., ROFFEY J., 1990-**"The Desert Locust: an international challenge,"*Philosophical Transactions of the Royal Society B***328**, 525–538.
- 82- SWORD G.A., LECOQ M., SIMPSON S.J., 2010-**"Phase polyphenism and preventative locust management," *Journal of Insect Physiology***56**, 949–957.
- 83- SYMMONS P.M., CRESSMAN K., 2001-**"*Directives sur le Criquet Pèlerin. Vol. 1, Biologie*," FAO, Rome, 43 p.
- 84- TUCKER C.J., HIELKEMA J.U., ROFFEY J., 1985-**"The potential of satellite remote sensing of ecological conditions for survey and forecasting desert-locust activity," *International Journal of Remote Sensing*, **6**, 127-138.
- 85- 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,"*Bulletin of Entomological Research***12**, 135–163.
- 86- UVAROV B.P., 1928-**"*Locusts and Grasshoppers*," Imperial Bureau of Entomology, London.

- 87- UVAROV B.P., 1937**-“*Biological and ecological basis of locust phases and their practical application,*” In: Proceedings of the Fourth International Locust Conference. Cairo, April 22, 1936. Government Press, Cairo.
- 88- UVAROV B.P., 1938**-“*Locust as a world problem,*” In: Première conférence internationale pour la protection contre les calamités naturelles, Paris, September 13–17, 1937. Commission française d’études des calamités, with the support of Union Internationale de Secours, pp. 376–382.
- 89- UVAROV B.P., 1966**-“*Grasshoppers and Locusts. A handbook of General acridologie,*” Vol. I, Univ.Press, Cambridge, UK, 481p.
- 90- UVAROV B.P., 1977**-“*Grasshoppers and Locusts. A handbook of General acridologie,*” Vol. II, London, Centre for Overseas Pest Research, 613 p.
- 91- VAN DER VALK H., 2007**-“*Review of the efficacy of Metarhizium anisopliae var. acridum against the Desert Locust,*” Desert Locust Technical Series AGP/DL/TS/34. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 77 pp.
- 92- VOLKONSKY M.A., 1941**-“*Une mission d’étude de Schistocerca gregaria Forsk. ph. Solitaria dans le Sahara central (Hoggar, Asegrad, Ahnet). Novembre-December 1940,*” *Archives de l’Institut Pasteur d’Algérie***17**, 634–649.
- 93- VOSS F., DREISER U., 1997**-“*Mapping of desert locust habitats using remote sensing techniques,*” in *New strategies in Locust control*, S. Krall, R. Peveling, D. Ba Diallo, Eds., pp. 23-39, Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland.
- 94- WALOFF Z., 1966**-“*The upsurges and recessions of the desert locust plague: an historical survey,*” *Anti-Locust Mem.*,**8**, 111 pp.

ANNEXES

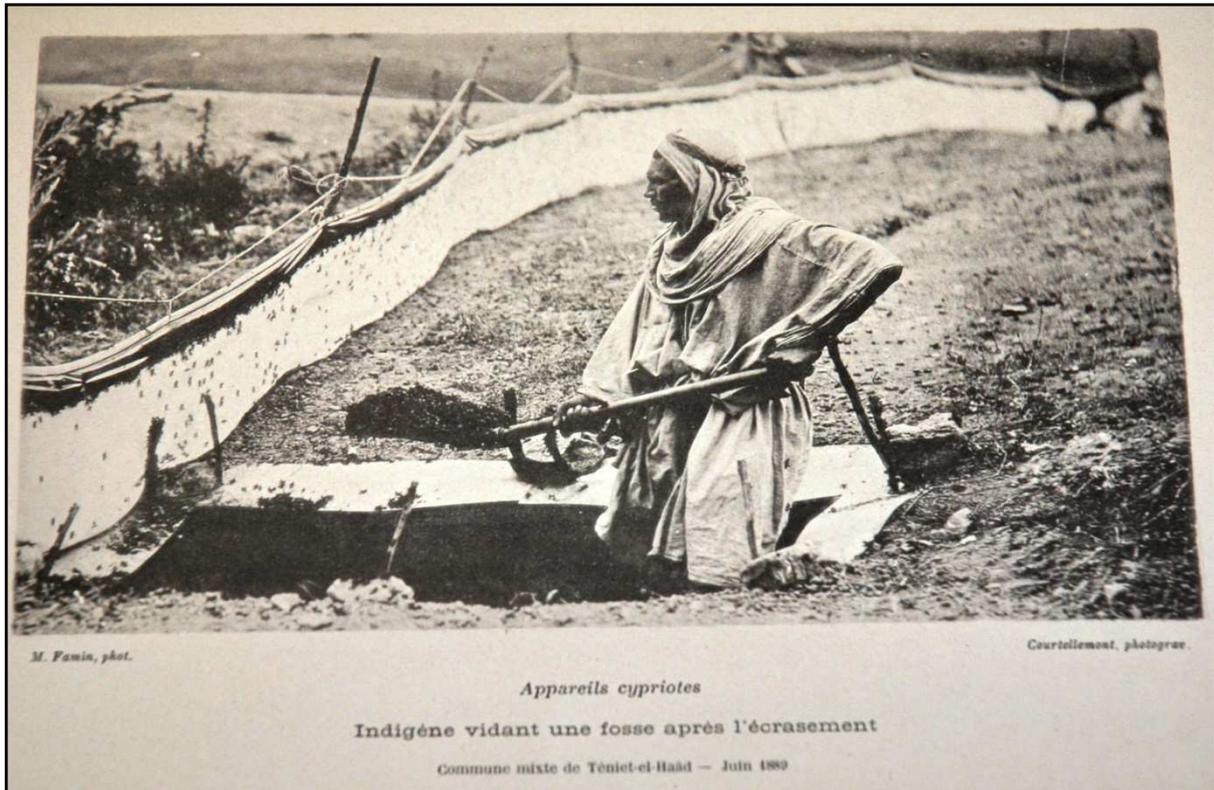
Annexe 1: Historique de la lutte antiacridienne en Algérie.



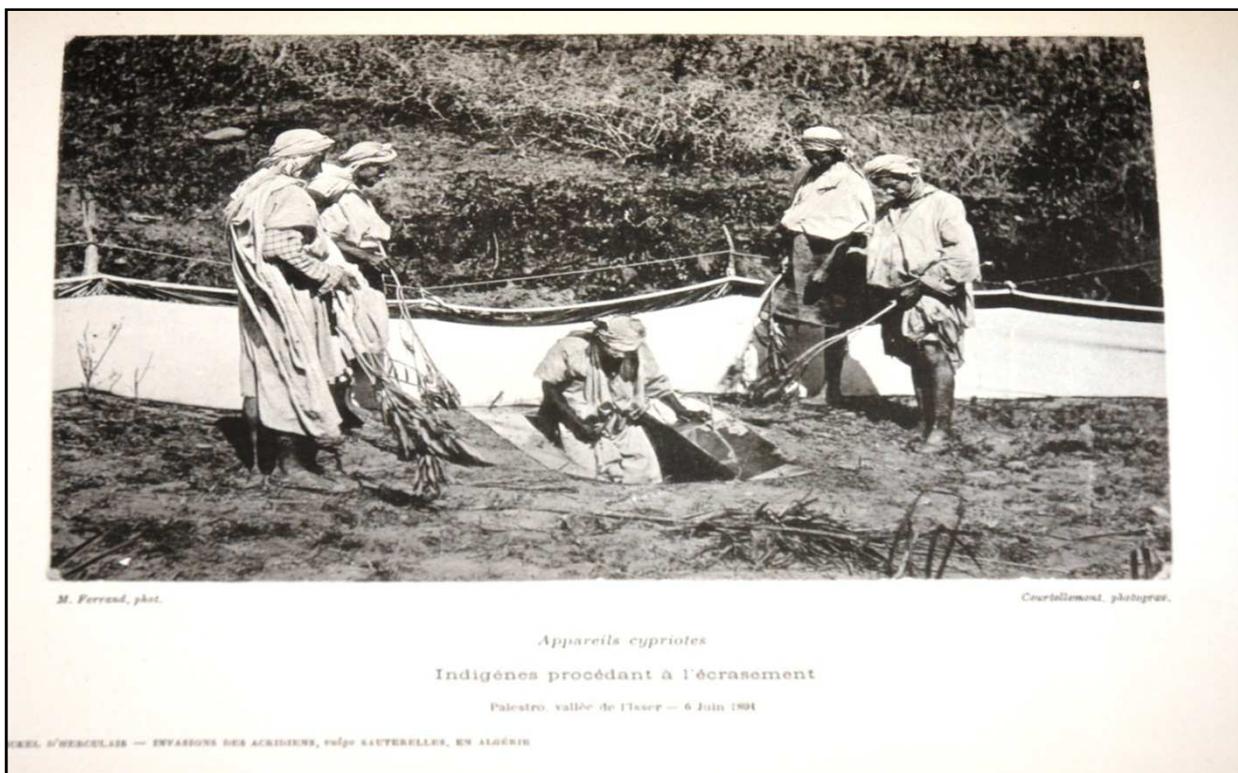
Labourage des lieux de ponte et ramassage des œufs à Biskra 1891 (Herculais 1905).



Destruction des bandes larvaires à l'Isser lors de l'invasion 1891 (Herculais 1905).



Lutte contre les bandes larvaires à l'aide de l'appareil cypriote lors de l'invasion 1889 (Herculais 1905).



Ecrasement des bandes larvaires lors de l'invasion 1889 (Herculais 1905).

Annexe2: Décrets, lois, circulaires et instructions relatifs à la lutte antiacridienne en Algérie.

INVASIONS DE 1866-1867

8. DESTRUCTION DES SAUTERELLES ADULTES : MOYENS DE LES CHASSER
OU DE LES DÉTRUIRE — RÉQUISITION

*Avis de M. le Maire de Blida à la population, en prévision du passage
des Sauterelles signalées dans le voisinage de Mouzaïville.*

Blida, le 19 avril 1866.

Le Maire porte à la connaissance de la population que les Sauterelles, après s'être d'abord montrées dans les environs de Boghar et de Médéa, paraissent se rapprocher de nous et qu'un assez grand nombre est signalé dans la commune de Mouzaïville.

Sans trop s'alarmer à l'avance, il importe de se tenir en mesure de combattre ce fléau, s'il venait à s'abattre sur notre territoire.

Le Maire invite donc la population à se tenir prête à agir et, au besoin, à se rendre à toute réquisition qui pourrait être faite, comme en cas d'incendie.

Les moyens de combattre ou de chasser les Sauterelles sont ceux-ci :

1° Quand elles sont en l'air, les poursuivre par des bruits stridents, les effrayer par des détonations, par des feux, par de la fumée, pour les empêcher de s'abattre et de les forcer à continuer leur route vers la mer où elles vont mourir.

2° Les assommer sur place avec des balais de broussailles ;

3° Les réunir en tas et les brûler ;

4° Les jeter dans des fosses et les couvrir de terre.

Tous les agents de la police rurale devront être constamment en éveil pour signaler, s'il y a lieu, l'arrivée des Sauterelles ; chacun doit aussi surveiller de son côté.

En cas de réquisition, on devra se munir soit de balais de broussailles, soit de tous autres engins propres à la destruction des Sauterelles.

Le Maire,
BORÉLY DE LA SAPIE.

Moniteur de l'Algérie, n° 93, 22 avril 1866.

Instruction de Mr le Maire de Blida lors de l'invasion 1866-1867 (Herculais 1905).

INVASIONS DE 1845-1846

1. DESTRUCTION DES SAUTERELLES ADULTES : PRIMES — ENFOUISSEMENT CONSERVATION DES EAUX

*Circulaire adressée par M. le Directeur de l'Intérieur à MM. les Sous-Directeurs
de l'Intérieur, Commissaires civils et Maires.*

Alger, le 17 mai 1845.

Messieurs,

Un fléau destructeur vient de fondre sur le Nord de l'Afrique; les effets qu'il a produits jusqu'à présent, sans être aussi funestes qu'on l'a prétendu, ne manquent cependant pas de gravité, et la prudence commande de prendre, dans la limite de vos moyens, des mesures préservatrices pour l'avenir.

J'ai soumis au Conseil d'administration une proposition tendant à ce qu'une prime fut accordée pour la destruction des Sauterelles. Cette proposition a été prise en considération, et un premier crédit a été mis à ma disposition pour faire face à la dépense qui en résultera.

Je vous invite à prévenir, au reçu de la présente, les habitants du territoire que vous administrez, qu'une prime de quinze centimes par kilogramme de Sauterelles, sera accordée par l'Administration. Cette mesure, appliquée depuis quelques jours dans les environs d'Alger, a déjà produit de bons résultats. Vous ouvrirez immédiatement à cet effet un registre où vous inscrirez le nom des personnes avec l'indication des quantités apportées. Un relevé de cet état, certifié par vous, me sera transmis afin que j'ordonne en votre nom un mandat de la somme à laquelle s'élèvera le chiffre total des primes à accorder, en ce qui concerne votre circonscription administrative.

Au fur et à mesure qu'on vous apportera les Sauterelles, vous aurez soin de les faire enfouir dans des trous d'une profondeur telle qu'elles puissent être recouvertes d'une couche de terre végétale de 60 centimètres au moins d'épaisseur. Avant de les faire recouvrir de terre, il faudra verser dessus une couche de chaux vive. Si vous ne pouviez pas vous en procurer, vous devriez les faire brûler, en les mélangeant avec des herbes sèches et des broussailles.

Je ne dois pas terminer cette lettre sans vous prescrire des mesures pour la conservation des eaux. Les Sauterelles se rapprochent pour se désaltérer, ou pour

chercher la fraîcheur, des sources, des puits, des citernes ; il arrive alors qu'elles y tombent et corrompent les eaux. Vous comprenez, Monsieur, de quel intérêt il est de prévenir cet inconvénient dont les suites seraient funestes pour la santé publique. Je vous invite en conséquence à prendre immédiatement des dispositions pour que l'orifice des sources, fontaines, puits, regards, citernes et autres récipients d'eau potable existant dans l'étendue du territoire administré par vous, soient couverts de planches, de branches d'arbres, de roseaux, ou de toute autre fermeture de nature à intercepter absolument la chute des Sauterelles dans l'eau qu'ils recèlent. S'il résultait quelques frais de l'exécution de cette dernière disposition, vous les comprendriez dans l'état dont il a été parlé ci-dessus.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente dépêche et de me tenir au courant des dispositions que vous devrez prendre pour en assurer l'exécution.

Recevez, etc.

Signé : Le Directeur de l'Intérieur,
C^{te} E. GUYOT.

Pour ampliation :

L'Auditeur au Conseil d'Etat,
Secrétaire Général de l'Intérieur,
G. MERCIER.

Moniteur Algérien, n° 684, 20 mai 1845. — *Akhbar*, n° 575, 22 mai 1845.

2. DESTRUCTION DES JEUNES ACRIDIENS : INVITATION — RÉQUISITION

Circulaire adressée par M. le Directeur de l'Intérieur à tous les Maires des Communes rurales.

Alger, juin 1845.

Si l'allocation de primes pour la destruction des Sauterelles a produit de bons effets à l'égard des premières bandes arrivées dans le pays, l'expérience a démontré que ce moyen serait insuffisant pour obtenir des résultats réels en ce qui concerne la seconde génération de ces insectes, qui pullule en ce moment : cependant le péril est imminent, les cultures, les plantations, les arbres même sont menacés.

Dans ces circonstances, il est nécessaire d'avoir recours à des moyens énergiques, et l'Administration a besoin de s'assurer l'entier concours des populations agricoles.

Vous voudrez bien, en conséquence, au reçu de la présente, inviter les habitants à se livrer avec ensemble à la destruction de ces insectes : vous pourrez au besoin procéder par voix de réquisitions, si quelques colons manifestaient de la répugnance à s'associer aux efforts de l'Administration.

On a reconnu que le matin et le soir, pendant que les Sauterelles sont engourdies, on peut, au moyen de battues générales dans les lieux où elles se retirent en masse, en détruire des quantités considérables.

Circulaire adressée par le Directeur de l'Intérieur aux Maires des Communes rurales lors de l'invasion des années 1845/1846 (Herculais 1905).

Décret n° 67-177 du 31 août 1967 portant création d'un comité interministériel de lutte antiacridienne.

Le chef du gouvernement, président du conseil des ministres,
Sur le rapport du ministre de l'agriculture et de la réforme agraire,

Vu la loi n° 62-157 du 31 décembre 1962 tendant à la reconduction de la législation en vigueur au 31 décembre 1962, sauf dans ses dispositions contraires à la souveraineté nationale ;

Vu la loi du 25 septembre 1919 instituant des syndicats obligatoires pour la défense contre les sauterelles en Algérie ;

Vu le décret du 10 juillet 1920 relatif à l'organisation des syndicats obligatoires pour la défense contre les sauterelles ;

Vu l'arrêté du 9 mai 1942 modifié par les arrêtés des 10 juillet 1942 et 22 novembre 1943 portant application à l'Algérie de la loi du 25 mars 1941 organisant la protection des végétaux en France ;

Vu l'arrêté du 6 décembre 1946 portant modification de l'arrêté du 9 mai 1942 ;

Décète :

Article 1^{er}. — Il est créé un comité interministériel de lutte antiacridienne.

Art. 2. — Le comité est composé de :

- 1 représentant du ministère de la défense nationale,
- 1 représentant du ministère d'Etat chargé des transports,
- 1 représentant du ministère des affaires étrangères,
- 1 représentant du ministère de l'intérieur,
- 1 représentant du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire,
- 1 représentant du ministère des finances et du plan,
- 1 représentant du ministère de l'industrie et de l'énergie,
- 1 représentant du ministère des postes et télécommunications.

Ces représentants sont habilités à engager valablement l'autorité déléguée.

Art. 3. — Le comité est présidé par le directeur de la production végétale du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire.

Il se réunit sur convocation de son président, à l'initiative d'un ou plusieurs des membres qui le composent.

Art. 4. — Le comité interministériel de lutte antiacridienne a pour mission de faciliter la lutte antiacridienne.

A cet effet, il propose toutes mesures de nature à contribuer à la rapidité et à l'efficacité de l'intervention des services compétents du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, et veille à leur exécution immédiate.

Art. 5. — Le ministre de l'agriculture et de la réforme agraire, le ministre de la défense nationale, le ministre d'Etat chargé des transports, le ministre des affaires étrangères, le ministre de l'intérieur, le ministre des finances et du plan, le ministre de l'industrie et de l'énergie et le ministre des postes et télécommunications sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret qui sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 31 août 1967.

Houari BOUMEDIENE.

**Loi n° 87-17 du 1er août 1987 relative à la protection
phytosanitaire.**

Le Président de la République,

Vu la Constitution et notamment ses articles 151
et 154 ;

Vu l'ordonnance n° 66-154 du 8 juin 1966, modifiée
et complétée, portant code de procédure civile ;

Vu l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966, modifiée
et complétée, portant code de procédure pénale ;

Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée
et complétée, portant code pénal ;

Vu l'ordonnance n° 67-24 du 18 janvier 1967,
modifiée et complétée, portant code communal ;

Vu l'ordonnance n° 67-233 du 9 novembre 1967
relative à l'organisation du contrôle des produits
phytosanitaires à usage agricole ;

Vu l'ordonnance n° 69-38 du 23 mai 1969, modifiée
et complétée, portant code de la wilaya ;

Vu l'ordonnance n° 75-11 du 27 février 1975 portant
création de l'Institut national de la protection des
végétaux ;

Vu l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code civil ;

Vu la loi n° 78-02 du 11 février 1978 relative au monopole de l'Etat sur le commerce extérieur ;

Vu la loi n° 79-07 du 21 juillet 1979 portant code des douanes ;

Vu la loi n° 80-07 du 9 août 1980 relative aux assurances ;

Vu la loi n° 82-01 du 6 février 1982 portant code de l'information ;

Vu la loi n° 82-10 du 21 août 1982 relative à la chasse ;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement ;

Vu la loi n° 84-12 du 23 juin 1984 portant régime général des forêts ;

Vu la loi n° 84-17 du 7 juillet 1984 relative aux lois de finances ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé ;

Vu le décret n° 85-112 du 7 mai 1985 portant adhésion de l'Algérie à la convention internationale pour la protection des végétaux, signée à Rome le 6 décembre 1951, révisée par la résolution 14/79 de la conférence de la F.A.O. tenue du 10 au 29 novembre 1979 ;

Après adoption par l'Assemblée populaire nationale ;

Promulgue la loi dont la teneur suit :

TITRE I

DISPOSITIONS GENERALES

Article 1er. — La présente loi a pour objet la mise en œuvre de la politique nationale en matière de la protection phytosanitaire tendant à assurer :

— le contrôle, à travers le territoire national, des végétaux et produits des végétaux et autres articles pouvant servir de vecteurs aux organismes nuisibles ;

— le contrôle de l'importation, de l'exportation et du transit des végétaux, des produits végétaux et autres pouvant entraîner la propagation d'ennemis des végétaux ;

— l'organisation de la lutte contre les ennemis des végétaux et des produits agricoles ;

— le contrôle de l'utilisation des produits phytosanitaires dans la lutte contre les ennemis des végétaux.

Art. 2. — Au sens de la présente loi et des textes pris pour son application, les définitions suivantes sont applicables :

Végétaux : plantes vivantes et parties vivantes des plantes, y compris les fruits et les semences ;

Produits végétaux : produits d'origine végétale non transformés ou ayant subi une transformation simple telle que mouture, compression, dessèchement, fermentation ;

Matériel végétal : plantes vivantes ou parties vivantes de plantes, y compris les yeux, griffes, greffons, tubercules, rhizomes, boutures, pousses, semences destinés à la multiplication ou à la reproduction ;

Organismes nuisibles : ennemis des végétaux, produits végétaux et matériel végétal appartenant au règne animal et végétal, ainsi que les virus pathogènes et organismes pathogènes similaires ;

Quarantaine : isolement sous contrôle de végétaux, produits végétaux et matériel végétal reconnus ou suspectés infestés ou infectés d'organismes nuisibles ;

Emballage : tous matériaux dans lesquels sont emballés en partie ou entièrement les végétaux, produits végétaux et matériel végétal ainsi que les produits phytosanitaires ;

Marchandises : végétaux, produits végétaux et matériel végétal ;

Transit : introduction en zone sous douane ou acheminement temporaire de marchandises à travers le territoire national ;

Point d'entrée : lieu de trafic terrestre, maritime ou aérien pourvu d'un bureau de douane et d'un poste de contrôle phytosanitaire ;

Pesticide ou produit phytosanitaire : substance ou mélange de substances destiné à repousser, détruire ou combattre les organismes nuisibles, en vue de la protection ou de l'amélioration de la production végétale. Le terme comprend les agents biologiques, les régulateurs de croissance, les correcteurs de carence, les défollants, les agents de dessiccation, les agents d'éclaircissage ainsi que les substances appliquées sur les cultures avant ou après récolte, pour protéger les produits contre la détérioration durant l'entreposage et le transport ;

Formulation : mélange de substances à propriétés diverses donnant un produit dans un état physique et sous une forme adaptée à l'usage prévu. Ce mélange contient généralement une matière active plus des adjuvants ;

Matière active : constituant biologiquement actif de la formulation auquel est attribuée, en tout ou en partie, son efficacité ;

Adjuvant : substance dépourvue d'activité biologique mais capable d'améliorer les qualités physico-chimiques de la formulation ;

Résidus : substances spécifiques laissées par un pesticide dans les produits agricoles. Le terme comprend tous les dérivés de pesticides et les impuretés jugées importantes du point de vue toxicologique de source inconnue ou inévitable ou résultant des utilisations connues du produit chimique ;

Homologation : processus par lequel l'autorité nationale compétente approuve la vente et l'utilisation d'un pesticide, après examen de données scientifiques complètes montrant que le produit est efficace pour les usages prévus et ne présente pas de risques excessifs pour la santé humaine et animale ou pour l'environnement ;

DECRETS

**Décret exécutif n° 93-139 du 14 juin 1993
portant réaménagement des statuts de
l'institut national de la protection des
végétaux.**

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'agriculture,

Vu la Constitution, notamment ses articles 81 et 116 ;

Vu l'ordonnance n° 75-11 du 27 février 1975 portant création de l'institut national de la protection des végétaux ;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et la promotion de la santé publique modifiée et complétée ;

Vu la loi n° 87-17 du 1er août 1987 relative à la protection phytosanitaire ;

Vu la loi n° 88-08 du 26 janvier 1988 relative aux activités de la médecine vétérinaire et à la protection de la santé animale ;

Vu la loi n° 89-02 du 7 février 1989 relative aux règles générales de la protection du consommateur ;

Vu la loi n° 89-23 du 10 décembre 1989 relative à la normalisation ;

Vu le décret législatif n° 93-01 du 19 janvier 1993 portant loi de finances pour 1993 ;

Vu le décret n° 67-177 du 31 août 1967 portant création d'un comité interministériel de lutte anti-acridienne ;

Vu le décret exécutif n° 90-12 du 1er janvier 1990 fixant les attributions du ministre de l'agriculture ;

Conformément aux dispositions constitutionnelles, la création, l'organisation et le fonctionnement des établissements publics ne relèvent plus du domaine législatif mais ressortissent du pouvoir réglementaire ;

Décète :

Article 1er. — Les statuts de l'institut national de la protection des végétaux, objet de l'ordonnance n° 75-11 du 27 février 1975 susvisé, sont réaménagés conformément aux dispositions du présent décret.

Chapitre I

Nature juridique — Objet — Siège

Art. 2. — L'institut national de la protection des végétaux, ci-après dénommé l'institut, est un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

L'institut est placé sous la tutelle du ministre de l'agriculture.

Son siège est fixé à Alger.

Art. 3. — En application de l'article 2 de la loi n° 87-17 du 1er août 1987 susvisée, l'institut est désigné autorité phytosanitaire.

Art. 4. — L'institut est chargé de :

— élaborer et proposer des programmes liés à la politique phytosanitaire ;

— proposer au ministre de tutelle les dispositions réglementaires régissant la protection des végétaux ;

— veiller à l'application des lois et règlements phytosanitaires à l'intérieur et aux frontières du territoire national ;

— homologuer, en liaison avec les structures concernées du ministère de la santé publique, les produits phytosanitaires à usage agricole en vue de leur introduction et leur utilisation sur le territoire national. A ce titre, il délivre les visas techniques prévus par la réglementation en vigueur ;

— organiser, animer, coordonner et évaluer les activités des corps spécialisés et des personnels dont les missions concourent à l'exercice de l'autorité phytosanitaire nationale quelque soit leur lieu d'activité ;

— organiser, coordonner et évaluer les activités de lutte obligatoire contre les ennemis des cultures ;

— concevoir et veiller à la mise en place et au fonctionnement du dispositif de surveillance et d'évaluation de l'état phytosanitaire des végétaux, produits végétaux et matériel végétal ;

— organiser et conduire en période de rémission les opérations de surveillance et de lutte contre le criquet pélerin en zones sahariennes ;

— élaborer et coordonner en période d'invasion la mise en œuvre des programmes de lutte notamment contre le criquet pélerin et le criquet marocain et participer à leur exécution ;

— concevoir, coordonner et évaluer les opérations de lutte contre les fléaux à caractère régional ou national notamment les rongeurs, les moineaux, la punaise des céréales, et tout autre ravageur dont la pullulation est telle qu'il s'érige en fléau ;

— établir des programmes de développement et de recherche dans le domaine de la protection des cultures ;

— élaborer et diffuser des bulletins d'avertissements agricoles ;

— participer à l'élaboration des programmes de vulgarisation dans le domaine phytosanitaire et contribuer à leur réalisation ;

— apporter son soutien scientifique et technique en matière de défense des cultures aux structures et établissements de formation du secteur agricole par la valorisation des résultats de la recherche et le diagnostic spécialisé ;

— réaliser des activités de diagnostic, d'expertises, d'études spécifiques et de réalisation des traitements liées à ses missions ;

Art. 5. — L'institut gère le fonds pour la promotion de la protection des végétaux institué par la loi n° 87-17 du 1er août 1987 susvisée et défini par le décret législatif n°93-01 du 19 janvier 1993 susvisé.

Art. 6. — Pour remplir sa mission et atteindre ses objectifs, l'institut est habilité dans le cadre de la réglementation en vigueur à :

— conclure tout contrat, accord ou convention avec les organismes nationaux et/ou étrangers dans son domaine d'activité ;

— participer tant en Algérie qu'à l'étranger aux colloques et séminaires ;

— réaliser toute opération mobilière et immobilière inhérente à son objet.

Chapitre II

Organisation — Fonctionnement

Art. 7. — L'institut est géré par un directeur général et administré par un conseil d'orientation. Il est doté d'un conseil scientifique.

Art. 8. — Le directeur général de l'institut est nommé par décret exécutif sur proposition du ministre de tutelle.

Art. 9. — Le directeur général est responsable du fonctionnement général de l'institut dont il assure la gestion dans le cadre de la réglementation en vigueur.

A ce titre :

— il agit au nom de l'institut et le représente en justice et dans tous les actes de la vie civile ;

— il exerce l'autorité hiérarchique sur l'ensemble du personnel de l'institut et nomme à tous les emplois pour lesquels un autre mode de nomination n'est pas prévu ;

— il est l'ordonnateur du budget général de l'institut dans les conditions fixées par les lois et règlements en vigueur ;

— il établit le projet de budget, engage et ordonne les dépenses de l'institut ;

— il passe tous les marchés, accords et conventions en rapport avec le programme d'activité de l'institut ;

— il établit le rapport annuel d'activité qu'il adresse à l'autorité de tutelle après approbation du conseil d'orientation ;

— il prépare les réunions du conseil d'orientation et suit l'exécution de ses décisions approuvées par l'autorité de tutelle.

Art. 10. — Le directeur général est assisté dans ses fonctions par un directeur général-adjoint nommé par arrêté du ministre de tutelle sur proposition du directeur général de l'institut.

Art. 11. — Le conseil d'orientation est présidé par le représentant du ministre de l'agriculture.

Il comprend :

— le représentant du ministre chargé des finances ;

— le représentant du ministre chargé de la santé publique ;

— le représentant du ministre chargé de la recherche.

Le directeur général et l'agent comptable assistent aux réunions du conseil d'orientation à titre consultatif.

Le secrétariat du conseil d'orientation est assuré par le directeur général de l'institut.

Le conseil d'orientation peut faire appel à toute personne jugée compétente pour les questions à débattre ou susceptible de l'éclairer dans ses délibérations.

Art. 12. — Dans le cadre de la réglementation en vigueur, le conseil d'orientation délibère notamment sur :

— les plans et programmes annuels et pluriannuels ainsi que sur les bilans d'activités ;

— les programmes d'investissements ;

— les conditions générales de passation des accords et conventions ;

— les projets de budget et les comptes annuels de l'institut ;

— l'aliénation de biens mobiliers et immobiliers ;

— les projets d'acquisition et de location d'immeubles ;

— l'acceptation et l'affectation des dons et legs ;

Annexe 3: Dégâts du criquet pèlerin sur cultures.



Dégâts du criquet pèlerin sur pommier à Tiaret (photo M.Lazar, 2004).



Dégâts du criquet pèlerin sur vigne à Tiaret (photo M. Lazar, 2004).



Dégâts du criquet pèlerin sur tomate à Tiaret (photo M. Lazar, 2004).

Annexe 4: Champs de pontes et œufs du criquet pèlerin.



Champs de ponte en période d'invasion 2004/2005 (photo M. Lazar, 2004).



Oothèque d'une femelle grégaire (photo DSA Tamanrasset, 2005).

Annexe5: Stations d'étude des oueds Amded et Tikouiat (Tamanrasset).



Station1: Oued Amded, Tamanrasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station2 : Oued Amded Tamanrasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station3: Oued Amded, Tamanrasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station4 : Oued Amded, Tamanrasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



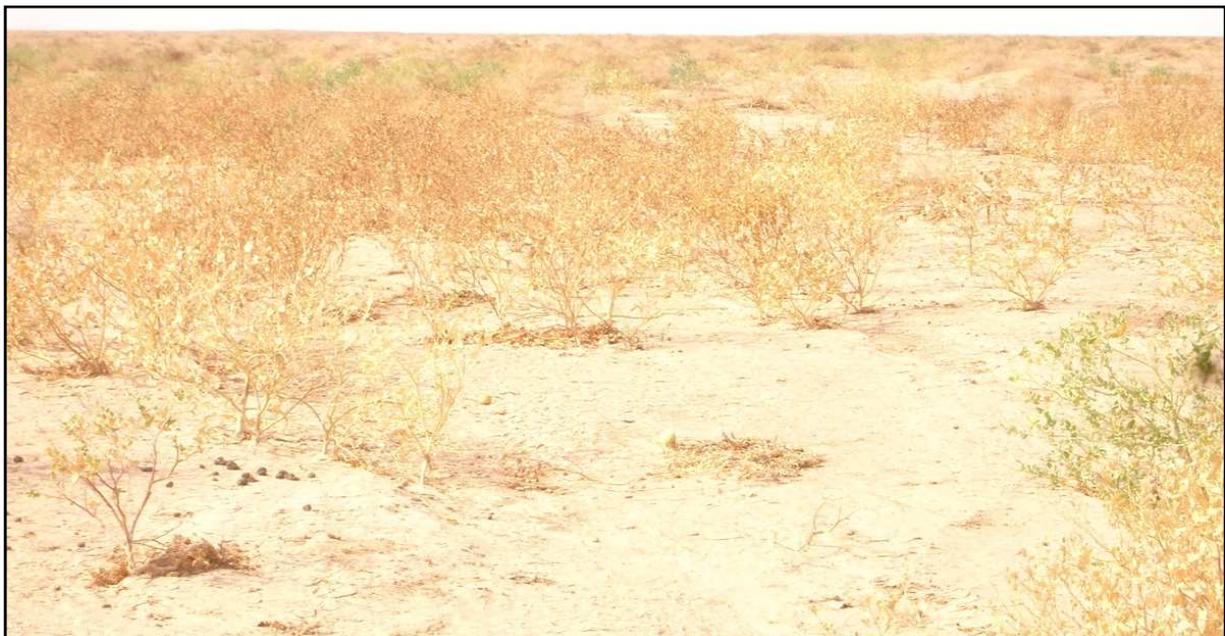
Station5: Oued Amded, Tamanrasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station6: Oued Amded, Tamanrasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station1: Oued Tikouiat, Tamarasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station2: Oued Tikouiat, Tamarasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station3: Oued Tikouiat, Tamarasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station4: Oued Tikouiat, Tamarasset (photo M. Lazar, janvier 2011)



Station5: Oued Tikouiat, Tamarasset (photo M. Lazar, janvier 2011).



Station6: Oued Tikouiat, Tamarasset (photo M. Lazar, janvier 2011).

Annexe 6: Mesure de l'humidité du sol.



Méthode TDR de calcul de l'humidité du sol (photo M. Lazar, 2011).



Lecture de l'humidité du sol (Photo M. Lazar, 2011).

Annexe 7 : Manuscrit 1 publié dans « Advances in Entomology »

Lazar M., Diongue A., Yang J., Doumandji-Mitiche B., Lecoq M., 2015. Location and characterization of breeding sites of solitary Desert Locust using Satellite Images Landsat 7 ETM+ and Terra MODIS. *Advances in Entomology*, **3**, 6-15. doi: [10.4236/ae.2015.31002](https://doi.org/10.4236/ae.2015.31002).

Location and Characterization of Breeding Sites of Solitary Desert Locust Using Satellite Images Landsat 7 ETM+ and Terra MODIS

Lazar Mohammed¹, Aliou Diongue², Jeng-Tze Yang³, Doumandji-Mitiche Bahia⁴, Lecoq Michel⁵

¹Institut National de la Protection des Végétaux, Alger, Algérie

²United Nations World Food Programme, Dakar, Sénégal

³National Chung-Hsing University, Taichung, Chinese Taipei

⁴Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger, Algérie

⁵CIRAD, Montpellier, France

Email: lazar.mohammed@gmail.com, aliou.diongue@wfp.org, ityang@dragon.nchu.edu.tw, Doumandjimitiche@yahoo.fr, lecoq@cirad.fr

Received 13 December 2014; accepted 6 January 2015; published 16 January 2015

Copyright © 2015 by authors and Scientific Research Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In the southern Algerian Sahara, populations of the desert locust have been monitored during the past 43 years. On a limited study area, the use of remote sensing data from Landsat 7 ETM+ and Terra MODIS, coupled with the locust population database, allowed the identification and mapping of solitary desert locust breeding areas during remission periods. These sites are mainly located in wadis and in areas of accumulation/spreading of rainwater. The use of this methodology to all the Algerian Sahara is surely possible in order to improve the preventive management of this pest.

Keywords

Desert Locust, *Schistocerca gregaria*, Remote Sensing, Modis, Landsat, Early Warning

1. Introduction

The desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775), is a dreaded insect because of the extent of damage it can inflict on agricultural production and of the socio-economic disruptions that may result [1] [2]. The consequences of its invasions can be disastrous for food security of many states in affected areas in Africa and Asia [3]. In addition, large amounts of chemical insecticides commonly used for control operations can result in se-

How to cite this paper: Lazar, M., Diongue, A., Yang, J.-T., Bahia, D.-M. and Michel, L. (2015) Location and Characterization of Breeding Sites of Solitary Desert Locust Using Satellite Images Landsat 7 ETM+ and Terra MODIS. *Advances in Entomology*, 3, 6-15. <http://dx.doi.org/10.4236/ae.2015.31002>

rious damage to the environment [4]. Respectively 26 and 13 million hectares have been treated to stop the last two major invasions of 1987-1988 and 2003-2004 [5].

The natural risk posed by these locust invasions can be effectively managed by the application of a preventive control strategy based, in particular, on the monitoring of potential risk areas, the outbreak areas [6] [7]. It is within these gregarious areas that conditions favorable for the departure of an outbreak and an invasion are most frequently encountered. The preventive control strategy involves early warning and rapid response capacities of all the countries with outbreak areas of this locust. This involves the regular monitoring of environmental conditions in outbreak areas, the estimation of the level of locust populations, as well as the implementation of preventive control measures against the very first gregarious populations. This strategy was recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) as early as the 1960s [8]-[13]. The required capacities have been developed gradually and implemented—to varying degrees—in most countries with outbreak areas [1] [2]. In parallel and gradually, the areas to be monitored have been reduced from 31 million km² of the invasion area to 15 million km² of the recession area and 250,000 km² of the outbreak areas. It has moved from a large area where all efforts may seem vain, to a much smaller area where the implementation of a preventive strategy becomes possible [7].

However, access to these areas located in the Saharan zone is difficult, and the areas to be monitored are still very large. The main concern of desert locust control units is to do this monitoring in the shortest time by optimizing routes prospecting of ground crews [14]. Early identification of breeding (maturation of groups of solitary adults as a result of favorable ecological conditions, egg laying and hopper development) is particularly crucial to have a chance to conduct effective preventive treatments before the first gregarious swarms disperse [6].

The use of satellite remote sensing technology has raised many hopes for forty years to support locust monitoring [15]-[20]. The research has focused mainly on locust species worldwide, *Locusta migratoria* [21], *Chortoicetes terminifera* [22], *Rhammatocerus schistocercoides* [23] and *Nomadacris septemfasciata* [24], but also on various grasshoppers species [3] [25]. For the desert locust, these techniques can in theory allow researchers, firstly, to better locate and map potential areas for reproduction and gregarization, and secondly, to identify in real time the appearance in these areas of suitable ecological conditions for breeding (rain, runoff and development of green vegetation), well before the first signs of gregarization [7] [26]. To date, however, there is no direct operational application based on remote sensing to guide ground surveillance teams of the desert locust [27].

Various studies are underway to try to improve the real-time detection of favorable ecological conditions, mainly green vegetation. These studies are based on Terra-MODIS and SPOT-VEGETATION images [28], and they try to solve problems related to low vegetation cover in Saharan environments [29]. In addition, all areas, even covered with vegetation, are not all equally favorable. The most potentially suitable habitats are grouped within the outbreak areas and represent a small fraction of those areas. Regarding mapping of the potentially favorable areas, some studies using high-resolution satellite imagery (1 pixel = 20 m side) have resulted in a spatial delineation of habitats of the desert locust. The works of Dreiser [30], Voss and Dreiser [31] and Dreiser *et al.* [32]-[35] based on analysis of Landsat images provide a first attempt to map locust habitats. However, these maps are not related to the probability of reproduction and gregarization of solitary populations. It is more maps of vegetation development at a given time and not real maps of locust habitats. Any operational use is illusory. Habitat maps of the desert locust by Popov [36] were designed thanks to the large field experience of this scientist, but without use of satellite imagery. Recently, Piou *et al.* [37] analyzed, in Mauritania, the relationship between historical prospection data of desert locust observations from 2005 to 2009 and spatio-temporal statistics of a vegetation index (NDVI) gathered by remote-sensing (MOD13Q1 from MODIS satellite) with the help of multiple models of logistic regression. The multi-model framework showed that vegetation development in a month and a half before the survey was amongst the best predictors of locust presence.

The main objective of this work, carried out on a pilot area in southern Algerian Sahara, is to integrate data from locust monitoring during the past 43 years, with remote sensing multispectral data of high resolution to locate, characterize and map the main breeding areas of solitary populations during remission periods, and thus to highlight the main sites to be preferentially monitored—if ecological conditions become favorable—through prevention operations during remission periods.

2. Methodology

2.1. Study Area

A pilot area was chosen for this study in the southwest of the Hoggar, in the region of Tamanrasset, which con-

tain the largest number of square degrees with a high frequency of reproduction of the desert locust in its solitary phase (Figure 1). The pilot study is a permanent habitat for the desert locust.

2.2. Locust Data

The National Institute of Plant Protection performs regular monitoring of desert locust populations across the Algerian territory and especially throughout the recession area located in the Saharan zone. Data collected are density and age of locust populations, their phasis status (solitary, transient, gregarious) and some environmental parameters particularly vegetation. These data are stored in the RAMSES database (Reconnaissance and Monitoring System of the Environment of *Schistocerca*) implemented by desert locust Information Service of FAO [38] in all the countries concerned by desert locust survey and preventive control. RAMSES is a computerized GIS-based application through which any user can store, view and retrieve desert locust related information at a national scale. This RAMSES basis for Algeria has more than 35,000 records resulting from surveys carried out in the field from 1965 to 2008. Data refer to geographical location of the surveyed areas (geographic coordinates), locust populations (density, biological state, phasis status) and various environmental parameters. From this basis it was possible to identify and map all the sites where reproduction of solitary populations were observed (only the egg laying females, hoppers as well as control operations against concentrations of solitary locust populations were used as an index of breeding).

2.3. Satellite Data

Satellites data of March 2005 issued from Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) and from Terra Modis (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) have been downloaded from the following sites: <http://glcf.umd.edu/data/landsat/> and http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Food_Security/Locusts/index.html. Mapping and satellite image processing were performed by the software ENVI 4.6 and ArcView 3.4. The base map used is from the National Geographic Institute (IGN) in Paris at the scales of 1:1,000,000 and 1:500,000.

2.4. Data Analysis

The difficulties related to the spectral characteristics of desert environments have necessitated the development of a specific methodology to bring out the breeding sites of the desert locust in its solitary phase. Vegetation was not useful as, in arid areas, it has often a reduced photosynthetic activity. Some dry years, there is virtually no

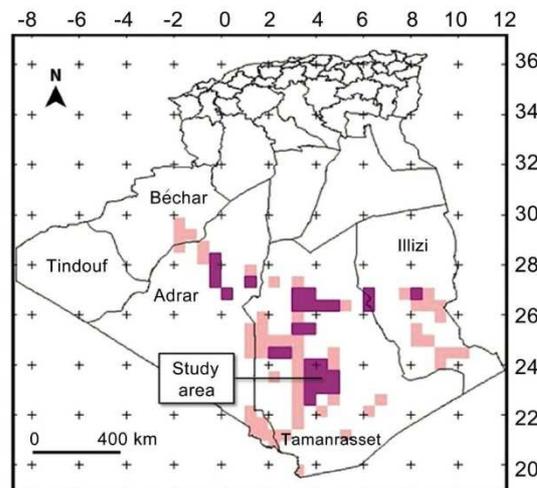


Figure 1. Distribution of quarter degree squares with a high frequency of reproduction of solitary locust populations (dark pink: high frequency; light pink: average frequency).

herbaceous annuals (coverage rate close to zero), and woody perennial species remain dry for months. And thus, for locust breeding areas there is rarely a specific spectral pattern. To overcome the difficulties in vegetation mapping, we looked for correlations between the breeding zones of solitary locusts (identified from the RAMSES database) and some easily identifiable geomorphological features using satellite imagery (Figure 2). However, the desert areas are characterized by soils generally highly reflective, mainly composed of silica sand and of limestone or gypsum fragments. In addition, they are often dry in surface. For this reason, it was impossible to separate the egg laying sites from other desert habitats (sand dunes, rocky plateaus, bare soil) from a simple classification (supervised or not) because of the reflectance values almost identical for the various layers (Figure 3). For all these reasons, and in order to overcome the difficulties related to the nature of the desert, mapping of breeding and egg laying sites required the use of both Terra MODIS and Landsat 7 ETM+ data, and specific digital treatments to optimize satellite images display. The various treatments carried out and the results obtained are described below.

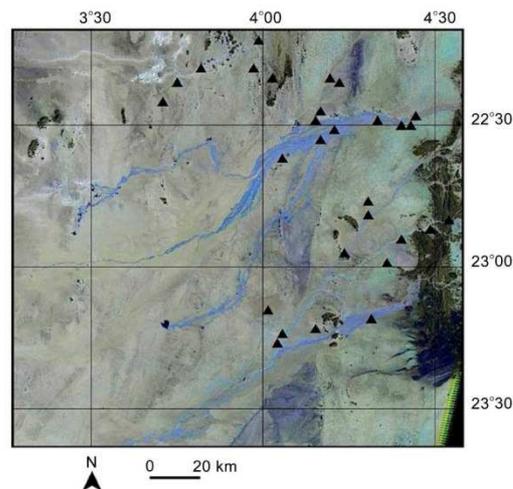


Figure 2. Location of breeding sites on an image of Landsat 7 ETM+ of the study area. The triangles represent sites where solitary laying females were observed during the past 43 years (1965-2008).

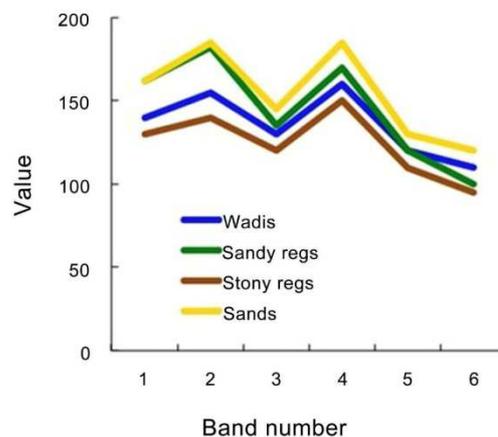


Figure 3. Spectral profiles determined from Landsat 7 ETM+ on wadis, stony regs, sandy regs and sandy soils.

3. Results

In the Saharan zone, it is known that the presence of various mountain ranges proves to be crucial to the locust by the wadis networks associated [39]. These wadis concentrate rainwater and can create conditions for locusts breeding, and this even in case of light rains. Thus, the main mountain ranges that form the main water supply of breeding areas for solitary populations of desert locust in southern Algeria were first mapped by using MODIS images at 250 m resolution. The technique of equal density classes was applied to the MODIS image in order to transform grayscale areas into colour ranges. This treatment transforms the image into RGB (red, green, blue) areas where similar spectral behavior appears in the same color. The highest mountain ranges were displayed with the same color. This color was transformed into a vector, exported and overlaid on a topographic map for identification of mountains (6 in total: 4 in the center of the Algerian Sahara, 1 at the border with Mali and 1 at the border with Niger) (Figure 4).

The breeding sites of solitary desert locusts were then superimposed on the map of the mountains. These sites are grouped into 85 quarter degree squares with an annual breeding frequency high or very high. This overlay allowed identifying five breeding areas under the influence of mountains: Hoggar, Ahnet and Assedjrad, Mouydir, Tassili n'Ajjer, and Adrar des Iforas (Figure 4). This location of high frequency breeding areas near the mountains is logically explained by the fact that the hydrographic network and the wadis with sandy soil or sandy-clay soils favor locust breeding. These wadis become favorable for breeding when they receive and accumulate rainwaters from the mountains.

The Landsat 7 ETM+ data were then used to map geomorphologic features and to especially identify the wadis where the breeding sites of solitary desert locusts are located. Several treatments have been necessary to separate wadis from other geomorphological structures due to the similarity of their reflectance. The six bands of Landsat 7 ETM+ were first loaded and displayed in composite color using channels 4, 3 and 2, respectively, infrared, red and green (Figure 5). A principal component analysis on the six original bands of Landsat 7 ETM+ has reduced the information contained in the six original bands, highly correlated, to only 3 components. This mathematical transformation produces a new image, accentuating the contrast of the original image, and making a much easier geomorphological interpretation (Figure 6).

A supervised classification allowed the extraction and mapping of the major wadis in the region (Figure 7). It is clear that the quarter degree squares with a high frequency of locust breeding are those containing many wadis and structures of various sizes (Figure 8). This layer "wadis" was then transformed into a vector, exported and superimposed on a topographical map for checking (Figure 9). We observed a perfect overlay of medium and large wadis mapped with those observed on the topographical map. Only small wadis were not visible on the satellite image, probably as a result of the low 30-meters resolution of Landsat 7 ETM+.

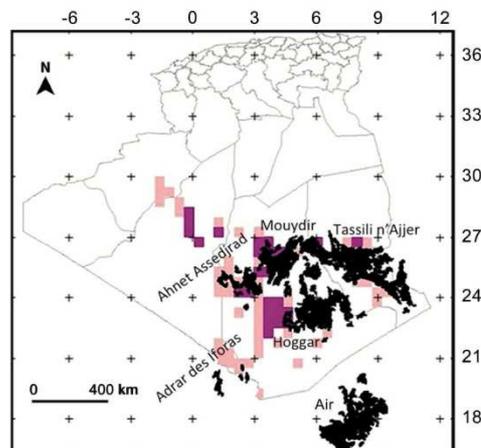


Figure 4. Location of egg laying sites of solitary desert locusts in the Algerian Sahara. Mountains are in black; breeding sites correspond to quarter degree squares coloured in light pink or dark pink.



Figure 5. Colourful composition of bands 4, 3 and 2 of a Landsat 7 ETM+ image of 21 March 2005 in south western Hoggar (Tamanrasset region).

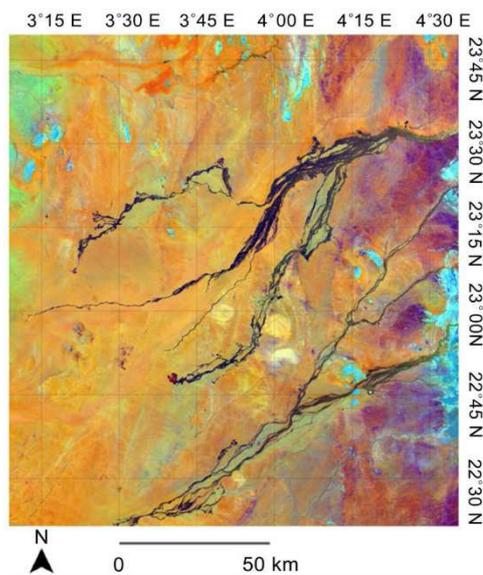


Figure 6. Image of the main component by treating 6 channels of the Landsat 7 ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5 and 7 in south western Hoggar (Tamanrasset region).

4. Discussion

This work shows the potential of Landsat 7 ETM+ images to map the main breeding areas of the desert locust in its solitary phase. Much work has been done in the past on the characterization of habitats of this species by the

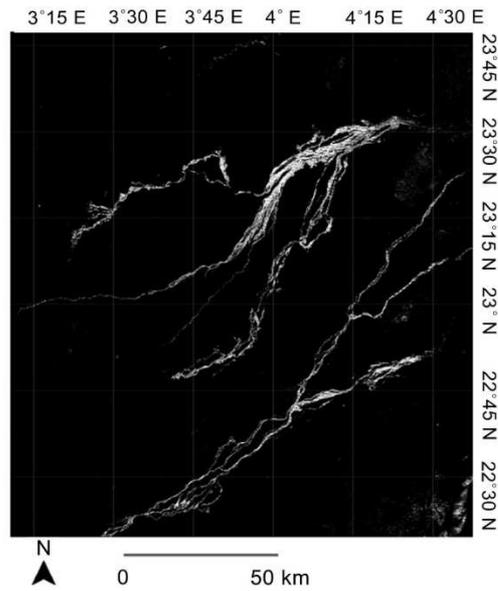


Figure 7. Extraction of the main wadis in the study area.

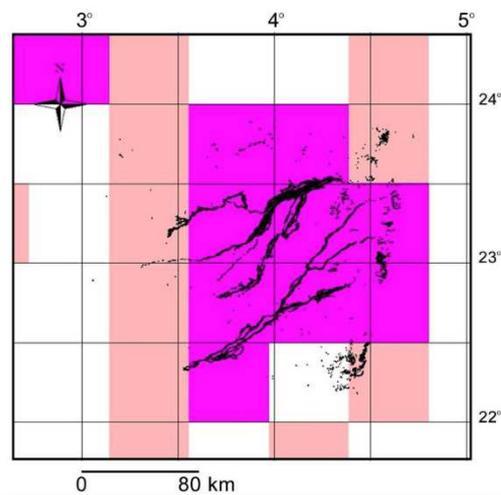


Figure 8. Overlay of the main wadis (obtained by analysis of satellite images) with the quarter degree squares of high (light pink) and very high (dark pink) breeding frequency of solitary locust populations.

use of remote sensing data. These studies have generally been based on attempts to map the vegetation (e.g. Dreiser *et al.* [32]-[35]). However, this mapping has proven to be difficult and costly. Indeed, in the Saharan region, the vegetation is difficult to identify due to a low coverage and often to a spectrum with no specific features [40]. In addition, extensive areas of vegetation vary from season to season and from year to year depending on rainfall, making illusory any attempt to map such an ephemeral parameter. It could never be better that a mere image at a given time. It seemed more useful to get rid of the vegetation and, using satellite imagery, to look for correlations between breeding areas of solitary locusts and some easily identifiable geomorphological features.

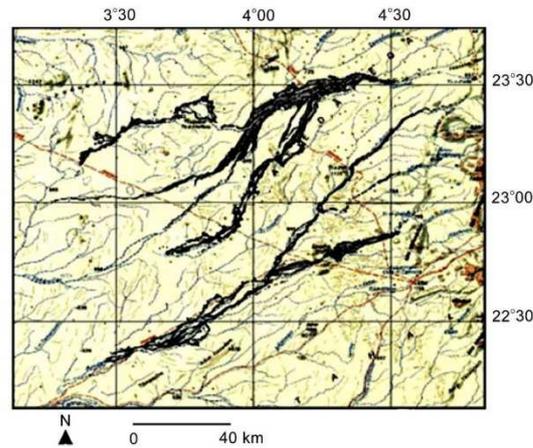


Figure 9. Overlay of a topographic map with the main wadis (in black), forming areas of potential locust breeding and highlighted by analysis of Landsat 7 ETM+ imagery.

In this context, the joint use of remote sensing data and of locust data issued from RAMSES for a period of 43 years (1965-2008) proved to be crucial. These locust data helped to prioritize the different areas according to their interest for the locust ecology. They allowed us to focus only on areas of major interest for the preventive control of this species. For our study area in the Hoggar, it's mainly the wadis on sandy, loam and clay-loam soils that gave the locust very favorable breeding conditions in case of rain or runoff. These wadis related to locust breeding have been fully mapped through various treatments applied mainly to data from Landsat 7 ETM+.

The scale used in this study makes operational results. They can be a cartographic basis of the potential locust breeding areas to be monitored in priority, especially when favorable ecological conditions develop. These results can be used in a geographic information system as a static basis layer of potentially suitable habitats, which may be superimposed on the dynamic information on environmental conditions, in particular vegetation phenology and rainfall [29] [37] [41]. Thus, the areas favorable to locust activity could be better delineated in real time, allowing survey teams to monitor, detect and destroy the first locust outbreaks more efficiently, thus reducing the risk of an invasion.

The method should be extended to all gregarization areas in Algeria and probably to other countries in the region containing outbreak areas, particularly Libya, Mauritania, Mali, Niger and Chad. All these countries have the necessary data bases on desert locust (often several decades of observations) to locate, for solitary populations, breeding areas of high frequency. Landsat images are available for free. This generalization could be done with minimal cost. However, climate change may likely modify the location of these favorable habitats and it will be necessary to remain vigilant on this issue.

The extrapolation of the method to a larger area, however, may pose some difficulties that must be overcome. Indeed, locust archive data showed that while 81% of the females deposited their eggs in the wadis or their surroundings (these wadis have been the subject of this study), there were 19% of egg pods laid in other areas (non characterized in this first approach). The same problem may arise if our method is extrapolated to other regions. It will also be necessary, for these new areas, to check if it is possible to associate the areas of high breeding frequency of solitary populations with geomorphological features (wadis or others) easily identifiable by remote sensing. Nevertheless, despite the limitations, the aim of this study is not so much to map all of these areas than just the most important ones. This will allow quicker reaction with a better focus of the survey teams at the early stages of gregarization when small impacts on locust population size can have dramatic effects and populations are still contained locally [7].

Acknowledgements

The authors wish to thank the FAO Commission for controlling the desert locust in the Western Region (CLCPRO)

who financially supported this study, and the National Institute for Plant Protection of Algeria who has provided its data on desert locust and made all the necessary logistical and human support for the field works.

References

- [1] Lecoq, M. (2001) Recent Progress in Desert and Migratory Locust Management in Africa. Are Preventative Actions Possible? *Journal of Orthoptera Research*, **10**, 277-291.
[http://dx.doi.org/10.1665/1082-6467\(2001\)010\[0277:RPIDAM\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1665/1082-6467(2001)010[0277:RPIDAM]2.0.CO;2)
- [2] Lecoq, M. (2003) Desert Locust Threat to Agricultural Development and Food Security and FAO/International Role in its Control. *Arab Journal of Plant Protection*, **21**, 188-193.
- [3] Latchininsky, A.V. (2013) Locusts and Remote Sensing: A Review. *Journal of Applied Remote Sensing*, **7**, Article ID: 075099. <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.7.075099>
- [4] Brader, L., Djibo, H., Faye, F.G., Ghaout, S., Lazar, M., Nguala, P.M. and OuldBabah, M.A. (2006) Towards a More Effective Response to Desert Locusts and their Impacts on Food Insecurity, Livelihoods and Poverty. Independent Multilateral Evaluation of the 2003-05 Desert Locust Campaign. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [5] Lecoq, M. (2005) Desert Locust Management: From Ecology to Anthropology. *Journal of Orthoptera Research*, **141**, 179-186. [http://dx.doi.org/10.1665/1082-6467\(2005\)141\[179:DLMFET\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1665/1082-6467(2005)141[179:DLMFET]2.0.CO;2)
- [6] Magor, J.I., Lecoq, M. and Hunter, D.M. (2008) Preventive Control and Desert Locust Plagues. *Crop Protection*, **27**, 1527-1533. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2008.08.006>
- [7] Sword, G.A., Lecoq, M. and Simpson, S.J. (2010) Phase Polyphenism and Preventative Locust Management. *Journal of Insect Physiology*, **56**, 949-957. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jinsphys.2010.05.005>
- [8] FAO (1968) Desert Locust Project. Final Report. Report No. FAO/SF: 34/DLC. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [9] FAO (1972) Projet relatif au Criquet pèlerin. Rapport complémentaire (juillet 1966-décembre 1970). Report No. FAO/SF: 34/DLC. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [10] Hafraoui, A. and McCulloch, L. (1993) Present Practices of Controlling Desert Locust Outbreaks. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [11] Krall, S., Peveling, R. and Diallo, D.B. (1997) New Strategies in Locust Control. Birkhäuser Verlag, Basel.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-0348-9202-5>
- [12] Magor, J.I., Ceccato, P., Dobson, H.M., Pender, J. and Ritchie, L. (2005) Preparedness to Prevent Desert Locust Plagues in the Central Region: An Historical Review. Report No. AGP/DL/DS/35, Desert Locust Technical Series, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [13] Van Huis, A. (2007) Locust Control by Early Identification of Breeding Sites. *Encyclopedia of Pest Management*, **1**, 1-3.
- [14] SidiBenahi, A.S. (2008) Délimitation spatiale et temporelle des biotopes du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) en Mauritanie (zone pilote de Garat Levras). Master SILAT "Systèmes" informations localisées pour l'aménagement des territoires", ENGREF/AGRO/IGN/INA-PG, Montpellier, France.
- [15] Cherlet, M.R., Di Gregorio, A. and Hielkema, J.U. (1991) Remote-Sensing Applications for Desert Locust Monitoring and Forecasting. *EPPPO Bulletin*, **21**, 633-642. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2338.1991.tb01297.x>
- [16] Hielkema, J.U. (1977) Application of Landsat Data in Desert Locust Survey and Control. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [17] Hielkema, J.U. (1991) Desert Locust Monitoring with Satellite Remote Sensing. *ITC Journal*, **4**, 387-417.
- [18] Hielkema, J.U., Roffey, J. and Tucker, C.J. (1986) Assessment of Ecological Conditions Associated with the 1980/81 Desert Locust Plague Upsurge in West Africa Using Environmental Satellite Data. *International Journal of Remote Sensing*, **7**, 1609-1622. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168608948956>
- [19] Pedgley, D.E. (1974) ERTS Surveys a 500 km² Locust Breeding Site in Saudi Arabia. In: Frieden, S.C., Mercanti, E.P. and Becker, M.A., Eds., *Third Earth Resources Technology Satellite—Symposium*, Vol. 1, NASA, Maryland, 233-246.
- [20] Tucker, C.J., Hielkema, J.U. and Roffey, J. (1985) The Potential of Satellite Remote Sensing of Ecological Conditions for Survey and Forecasting Desert-Locust Activity. *International Journal of Remote Sensing*, **6**, 127-138.
<http://dx.doi.org/10.1080/01431168508948429>
- [21] Sivanpillai, R. and Latchininsky, A.V. (2007) Mapping Locust Habitats in the Amudarya River Delta, Uzbekistan, Using Multi-Temporal MODIS Imagery. *Environmental Management*, **39**, 876-886.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00267-006-0193-y>

- [22] Bryceson, K.P., Hunter, D.M. and Hamilton, J.G. (1993) Use of Remotely Sensed Data in the Australian Plague Locust Commission. In: Corey, S.A., Dall, D.J. and Milne, W.M., Eds., *Pest Control and Sustainable Agriculture*, CSIRO, Melbourne, 435-439.
- [23] de Miranda, E.E., Pierozzi Jr., I., Batistella, M., Duranton, J.F. and Lecoq, M. (1994) Static and Dynamic Cartographies of the Biotopes of the Grasshopper *Rhammatocerus schistocercoides* (Rehn, 1906) in the State of Mato Grosso, Brazil. Technical Review for Ibero-American and Worldwide Integration, *SELPER*, **10**, 67-71.
- [24] Franc, A. (2007) Impact des transformations mésologiques sur la dynamique des populations et la grégarisation du criquet nomade dans le bassin de la Sofia (Madagascar). Unpublished Doctoral Thesis, University of Montpellier III, Montpellier.
- [25] Latchininsky, A.V. and Sivanpillai, R. (2010) Locust Habitat Monitoring and Risk Assessment Using Remote Sensing and GIS Technologies. In: Ciancio, A. and Mukerji, K.G., Eds., *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases, Integrated Management of Plant Pests and Diseases*, Vol. 5, Springer, Dordrecht, 163-188.
- [26] Cressman, K. (2013) Role of Remote Sensing in Desert Locust Early Warning. *Journal of Applied Remote Sensing*, **7**, Article ID: 075098. <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.7.075098>
- [27] Ceccato, P., Cressman, K., Giannini, A. and Trzaska, S. (2007) The Desert Locust Upsurge in West Africa (2003-2005): Information on the Desert Locust Early Warning System, and the Prospects for Seasonal Climate Forecasting. *International Journal of Pest Management*, **53**, 7-13. <http://dx.doi.org/10.1080/09670870600968826>
- [28] Ceccato, P. (2005) Operational Early Warning System Using SPOT-VGT and TERRAMODIS to Predict Desert Locust Outbreaks. In: Veroustraete, F. and Bartholomé, E., Eds., *Proceedings of the 2nd International SPOT-VEGETATION Users Conference*, European Commission, Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 475 p.
- [29] Pekel, J.F., Ceccato, P., Vancutsem, C., Cressman, K., Vanbogaert, E. and Defourny, P. (2011) Development and Application of Multi-Temporal Colorimetric Transformation to Monitor Vegetation in the Desert Locust Habitat. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **4**, 318-326. <http://dx.doi.org/10.1109/JSTARS.2010.2052591>
- [30] Dreiser, U. (1994) Mapping of Desert Locust Habitats in Africa Using Landsat Thematic Mapper Data. *GeoJournal*, **32**, 55-60. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00806357>
- [31] Voss, F. and Dreiser, U. (1997) Mapping of Desert Locust Habitats Using Remote Sensing Techniques. In: Krall, S., Peveling, R. and Ba Diallo, D., Eds., *New Strategies in Locust Control*, Birkhäuser Verlag, Basel, 37-45.
- [32] Dreiser, U., Voss, F. and Popov, G. (1992) Potential Desert Locust Biotopes—Tokar Delta (Sudan). Mapsheet, GTZ, Eschborn.
- [33] Dreiser, U., Voss, F. and Popov, G. (1993) Principaux biotopes du criquet pèlerin dans le nord du Tilemsi (Mali). Mapsheet, GTZ, Eschborn.
- [34] Dreiser, U., Voss, F. and Popov, G. (1993) Principaux biotopes du criquet pèlerin dans l'Adrar des Iforhas (Mali). Mapsheet, GTZ, Eschborn.
- [35] Dreiser, U., Voss, F. and Popov, G. (1994) Principaux biotopes du criquet pèlerin dans la région d'Akjoujt—Atar (Mauritanie). Mapsheet, GTZ, Eschborn.
- [36] Popov, G.B. (1997) Atlas of Desert Locust Breeding Habitats. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [37] Piou, C., Lebourgeois, V., Benahi, A.S., Bonnal, V., el Hacen Jaavar, M., Lecoq, M. and Vassal, J.M. (2013) Coupling Historical Prospection Data and a Remotely-Sensed Vegetation Index for the Preventative Control of Desert Locusts. *Basic and Applied Ecology*, **14**, 593-604. <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2013.08.007>
- [38] Cressman, K. and Hodson, D. (2009) Surveillance, Information Sharing and Early Warning Systems for Transboundary Plant Pests Diseases: The FAO Experience. *Arab Journal of Plant Protection*, **27**, 226-232.
- [39] Lecoq, M. (2012) Bioécologie du criquet pèlerin. FAO-CLCPRO (Food and Agriculture Organization of the United Nations—Commission for Controlling the Desert Locust in the Western Region), Alger.
- [40] Escadafal, R. and Huete, A.R. (1991) Étude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **312**, 1385-1391.
- [41] FAO (2012) Locust Watch—Desert Locust. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/ag/locusts/en/activ/DLIS/satel/index.html>

ملخص

دراسة النشاط المستمر للجراد الصحراوي (*Schistocerca gregaria*, forsk.1775) بمناطق تجمعها بالجنوب بالجزائر يعنظر يقاس استعمال المعطيات التاريخية وصور الأقمار الصناعية لتحسين التنبؤ بتفشي الجراد هذه المعطيات مستخرجة من قاعدة بيانات المعهد الوطني لوقاية النباتات، المقدر ب 39000 تسجيل عبر 46 سنة هذه المعلومات تخص حالة تواجد الجراد و الغطاء النباتي .
أظهرت هذه الدراسة أن منطقة الهقار تحتضن جل مناطق تكاثر الجراد الصحراوي في الحالة الانفرادية خاصة خلال شهر: فيفري، مارس، افريل و ماي وان اناث الجراد الصحراوي يتكاثر في الفترة الربيعية بين شهري فيفري و مارس.
كذلك الدراسة التحليلية المنجزة للعلاقة الموجودة بين الظروف الطبيعية وتواجد الجراد التي أجريت في ثلاث مناطق أدرار بينت تواجد تكملة بين هذه المناطق. وفي الاخير أظهرت دراسة النظام الغذائيان الجراد الانفرادي الهقار، جانث و يستهلك عدد ضئيل من النباتات رغم تواجدها بأعداد هائلة

كلمات البحث: الجراد الصحراوي، صور الأقمار الصناعية، الظروف البيئية، التكاثر و الغطاء النباتي

Résumé

L'étude de la dynamique des populations du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, forsk.1775) dans ces aires grégariques du sud algérien. Apport des données historiques et satellitaires pour améliorer la prévision des pullulations réalisée sur la base de données de l'Institut National de la Protection des végétaux, riche de 46 années de prospection, regroupant 39.000 enregistrements sur la présence acridienne et écologique au niveau du sud algérien a montré que la région du Hoggar abrite la majorité des zones de reproduction des solitaires et des transiens. Les femelles réalisent les pontes au niveau des principaux oueds qui abritent de conditions écologiques favorables. Aussi, la cartographie de la probabilité de la présence acridienne mensuelle au sud de l'Algérie a montré que les fortes présences ont été observées durant les mois de Février, mars, avril et mai. Les transiens et les grégaires se produisent en Algérie essentiellement en période printanière à la faveur des pluies reçues durant les mois de février et mars. Les analyses statistiques relative à la dynamique des populations réalisées au niveau de trois régions du Hoggar, Adrar et Djanet connues comme des zones potentielles de reproduction du criquet pèlerin ont montré l'existence d'une complémentarités inter régions. L'étude du régime alimentaire au niveau de deux stations du Hoggar a montré que malgré la richesse floristique des deux stations, les individus prélevés du criquet pèlerin ne possèdent pas un régime alimentaire diversifié.

Mots clés : Criquet pèlerin, données satellitaires, conditions écologiques, reproduction, végétation

Summary

The study of the dynamics of population of the desert locust (*Schistocerca gregaria* forsk.1775) in these outbreak areas of southern Algeria. Contribution of historical and satellite data to improve forecasting of outbreaks performed on the database of the National Institute of Plant Protection, rich 46 years of exploration, bringing together 39,000 records locust and environmental presence in southern Algeria level showed that the Hoggar region is home to the majority of the breeding areas solitary and transiens. The females breeding at the main wadis where the favorable ecological conditions. Also, mapping the likelihood of the presence monthly locust in southern Algeria showed strong presences were observed during the months of February, March, April and May. The transiens and gregarious occur mainly in Algeria spring time thanks to the rains in the months of February and March. Statistical analyzes on population dynamics conducted in three regions of the Hoggar, Adrar and Djanet known as potential breeding areas of the Desert Locust have shown the existence of an inter Complementarities regions. The study of the diet at two stations of the Hoggar showed that despite the rich flora of the two stations, individuals collected locust do not have a diversified diet.

Keywords: locusts, satellite data, ecological, breeding, vegetation

