

*Zones de reproduction potentielles du
Criquet pèlerin Schistocerca gregaria
Forsk. 1775 dans le sud algérien*

délimitation et suivi de l'évolution de la végétation
aux moyens d'images satellitaires.

PRESENTE PAR

Mr. Mohamed LAZAR

Pr. B. Doumandji Mitiche : Directeur de thèse Dr. K. Moumene : Co- promoteur
04 Juillet 2005

DEVANT LE JURY : - Pr. S. Doumandji : Président - Dr. M.C. Abdelguerfi : Examineur - Dr. S.
Moumen : Examineur

Table des matières

Dédicace . . .	5
Résumé . . .	6
Summary . . .	7
AVANT PROPOS . . .	8
INTRODUCTION . . .	9
Chapitre I : Quelques données sur le criquet pèlerin . . .	12
1-1 : Biologie et écologie . . .	12
1-2 : Aires d'invasion et de rémission . . .	13
1-3 : Aires de grégarisation . . .	14
1-4 : Processus de grégarisation . . .	14
1-5 Phases du polymorphisme . . .	15
1-6 : Stratégie de lutte . . .	16
CHAPITRE II : zones de haute fréquence des signalisations . . .	18
2-1 : Cartographie de zones d'étude . . .	18
2- 1-1 : Matériel . . .	18
2-1-2 : Méthode . . .	19
2-1-3 : Résultats . . .	20
2-1-4 Discussion et conclusion . . .	23
2-2 : Délimitation des zones de signalisations . . .	23
2-2-1 : Matériel . . .	23
2-2-2 : Méthode . . .	23
2-2-3 : Résultats . . .	25
2-2-4 : Discussion . . .	31
2-2-5 : Conclusion . . .	31
CHAPITRE III:LA TELEDETECTION: analyse d'information sur la végétation . . .	33
3-1 Définition . . .	33
3-2 Les Bases physiques de la télédétection . . .	33
3-2-1 Le rayonnement électromagnétique . . .	33
3-2-2 Classification du rayonnement électromagnétique . . .	34
3-2-3 : Interactions avec l'atmosphère . . .	35
3-2-4 Interaction rayonnement - cible . . .	37
3-2-5: La signature spectrale . . .	37
3-2-6: Synthèse des couleurs . . .	38
3-2-7 : Caractéristiques spectrales de la végétation . . .	38
3-2-8 : Indice de la Végétation de la différence Normalisée (NDVI) . . .	39
3-2-9 : Facteurs pouvant influencer l'indice de la végétation . . .	40
3-3 : Suivi de l'évolution saisonnière de la couverture végétale. . .	40
3-3-1 : Matériel . . .	41
3-3-2 : Méthode d'analyse et d'interprétation des images satellitaires . . .	43
3-3-3 : Résultats . . .	44

3-3-4 : Discussion et conclusion . .	46
3-4 : Evolution de l'indice de la végétation . .	46
3-4-1: Méthode . .	47
3-4-2 : Résultats . .	47
3-4-3 : Discussion et conclusion . .	50
3-5 : Présentation de quelques espèces végétales influant les valeurs du NDVI (Annexe 1) . .	51
CHAPITRE IV : Intérêt de la végétation détectée pour le criquet pèlerin . .	53
4-1 : Etude du régime alimentaire . .	53
4-1-1 : Matériel . .	53
4-1-2 : Méthode d'analyse des contenus digestifs . .	54
4-1-3 : Résultats . .	55
4-1-4 Discussion . .	57
4-2 : Etat phasaire des individus prélevés des deux stations . .	58
4-2-1 Résultats . .	58
4-2-2 : Discussion . .	58
CONCLUSION GENERALE . .	60
BIBLIOGRAPHIE . .	62
Annexes . .	66
Annexe1 : Quelques espèces végétales qui peuvent influencer l'indice de la végétation. . .	66
Annexe 2 : Fréquence annuelle des pluies dans du Sahara central d'après Sitouh, 1976. . .	69
Annexe 3 : Les quantités des pluies (mm) enregistrées durant l'année 2002(ONM) . .	69
Annexe 4 : Les quantités des pluies enregistrées (mm) durant l'année 2003(ONM) . .	70

Dédicace

DEDICACE A la mémoire de mon père A ma chère mère A ma femme A mes sœurs et frères

Résumé

La délimitation et le suivi de l'évolution de la végétation aux moyens d'images satellitales au niveau des zones de reproduction potentielles du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk. 1775 dans le sud algérien par la réalisation d'un système d'information géographique, intégrant toutes les composantes statiques d'un paysage désertique a permis de cartographier le paysage des biotopes de reproduction du Criquet pèlerin, l'intégration des relevés de la végétation et la comparaison des données du terrain à d'autres données fournies par les images SPOT VEGETATION et ALSAT1. Les biotopes où les fréquences des signalisations ont été les plus élevées, se situent respectivement du Sud au Nord dans le Tamesna algéro-nigero-malien, sud-ouest du Hoggar, Tassili N'Najer, au nord-est du plateau de Tadmait et les périmètres de mise en valeur. La télédétection de la végétation par l'utilisation des images satellitales a montré, que l'Indice de Végétation Différence Normalisée (NDVI) est une méthode efficace pour l'estimation des caractéristiques de la croissance de la végétation. Le régime alimentaire des populations acridiennes solitaires prélevées dans deux stations d'étude de la région de Tamanrasset, n'est pas très varié.

Mots clé : Criquet pèlerin, Spot, Alsat, NDVI

Summary

The delimitation and the follow up of vegetation evolution by means of satellite images in potential reproduction zones of desert locust *S. gregaria* Forsk 1775, in South Algeria and realization of geographic information system, integrating all static constituents of deserted landscape, have allowed to cartography the landscape of reproduction biotope of desert locust, to integrate a lists of vegetation and to compare data field with others supplied from SPOT and ALSAT1 images. The biotopes where the signalization frequencies were higher are situated respectively from south to north, in algero-nigero-malien Tamesna, south west oh Hoggar, Tassili N'Najer, in north of Tadmaït tableland and in the exploited perimeters. The remote sensing of vegetation by means of satellite has showed that the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is an efficient method to estimate the growth vegetation features. The food of solitary desert locust populations taken in two different sitting situated in Tamanrasset region, is almost the same for both of them.

Keys words: Desert locust, Spot, Alsat1, NDVI

AVANT PROPOS

La présente étude a été réalisée sur la base des données de prospection antiacridienne effectuée par les prospecteurs de l'Institut National de la Protection des Végétaux, dans le sud algérien pendant les années 1990 à 2003 sous la Direction de Madame le Professeur B. DOUMANDJI-MITICHE à l'Institut National d'Agronomie d'El Harrach. Je tiens à lui adresser mes profonds remerciements pour l'intérêt qu'elle a apporté à ce travail, pour ses précieux conseils. Je tiens à remercier vivement Monsieur K. MOUMENE, Docteur Acridologue, Chef du Département de Lutte Antiacridienne à l'INPV, pour avoir bien voulu m'encadrer aux cotés de Madame DOUMANDJI-MITICHE.

Je remercie vivement Monsieur le Professeur S. DOUMANDJI de l'Institut National d'Agronomie d'El Harrach, pour l'honneur qu'il me fait de présider le Jury.

Mes vifs remerciements s'adressent également à Monsieur M.C. ABDELGUERFI, Docteur maître de conférence à l'Institut National d'Agronomie d'El Harrach et à Monsieur S.MOUMEN, Docteur Directeur de la Protection des Végétaux et Contrôle Technique au niveau du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Mes remerciements et ma profonde reconnaissance vont également à Monsieur E.GUENDEZ, Directeur Général de l'INPV et Monsieur T. NEZZL, pour leur précieuses aides.

Que Monsieur B. CHARA, Docteur Acridologue trouve ici ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour son aide et ses précieux conseils.

Je tiens à remercier vivement Messieurs T. BENHALIMA, P. CECCATO et M. LECOQ, F.BBENHAMOUDA pour leurs soutiens.

A tous les collègues de lutte Antiacridienne, pour leur soutien en particulier, Chaouch A., Hadj Henni N., Belazougui M., Bensaad H., Bouteka C., Nedjarri A., Lounis M., AYACHE M, KADRI M., ZITOUNE S., Khitri M., Khalifa N., Reguig Z., Kefil M. Moulai K et Aissa.

INTRODUCTION

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. Les locustes sont différents des sauteriaux car ils ont la capacité de changer de comportement, de physiologie et de morphologie, en particulier de couleur et de forme, en réponse à des changements de densité. Les ailés peuvent former des essaims contenant jusqu'à des milliards d'individus, et qui se comportent comme unité cohérente (Symmos et Cressman, 2001).



Figure N° 1 : criquet pèlerin à l'état adulte (anonyme, 1993)

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 (Figure 2). De plus, les quantités considérables d'insecticides généralement utilisées pour les opérations de lutte entraînent des préjudices plus ou moins graves à l'environnement.



Figure N° 2 : Dégâts sur abricotier (Tiaret 2004)

Le risque naturel représenté par les pullulations acridiennes en général et le criquet pèlerin en particulier, doit 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 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 parfaitement maîtrisée et ses aires grégarigènes sont relativement bien localisées.

Les biotopes les plus favorables, dits 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 endoréïques 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, 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.

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 prospector et des conditions topographiques particulièrement difficiles dans de nombreuses régions désertiques.

Cette étude a été réalisée afin d'éviter la genèse de l'invasion en détectant plus rapidement et avec précision l'apparition de conditions favorables afin que les interventions soient plus rapides, plus précises, et moins coûteuses.

Cette étude traite les chapitres suivants :

- Les quelques généralités sur le criquet pèlerin : Sa bio écologie, ses aires d'invasion et de grégarisation...
- Les zones de haute fréquence des signalisations :
 - Cartographie deux zones de grégarisation par la réalisation d'un système d'information géographique des zones sahariennes;
 - Délimitation des zones des signalisations par la représentation des fréquences des signalisations acridiennes sur 13 années de prospection;
- La télédétection et analyse de la couverture végétale :
 - Bases physiques de la télédétection
 - Suivi de l'évolution saisonnière de la couverture végétale
 - Evolution de l'indice de la végétation de la différence normalisée
- L'intérêt de la végétation détectée pour le criquet pèlerin :
 - Etude du régime alimentaire dans deux stations
 - Etat phasaire des individus prélevés des deux stations moyennant des mesures morphométriques.
- Conclusion générale

Chapitre I : Quelques données sur le criquet pèlerin

1-1 : Biologie et écologie

Le criquet pèlerin effectue les pontes généralement au niveau des plaques de sol sableux dénudées (figure 3), au sein ou le long des bords de zones de végétation représentant des sites typiques de ponte. Alors qu'une surface bien ensoleillée du sol est généralement préférée, la ponte ne se produira pas, à moins qu'un sol humide ne soit atteint par l'ovipositeur, la profondeur maximale dans le sol sableux étant de 10 à 15 cm. Plusieurs tentatives successives d'oviposition peuvent être faites, durant lesquelles on constate une remarquable capacité 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 se dessèchent (Popov, 1958). Les œufs sont relativement mal protégés et la ponte qui s'ensuit doit pouvoir absorber son propre poids d'eau en provenance du sol pour compléter son développement (Shulov, 1952 cité par Popov, 1997).

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

Ainsi, la reproduction chez le criquet pèlerin est 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 était 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.

A aucun stade de son développement le criquet pèlerin n'a de diapause obligatoire, mais il est 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 contribue largement à sa survie dans des conditions désertiques, d'autant que l'espèce est particulièrement exigeante en matière d'humidité.

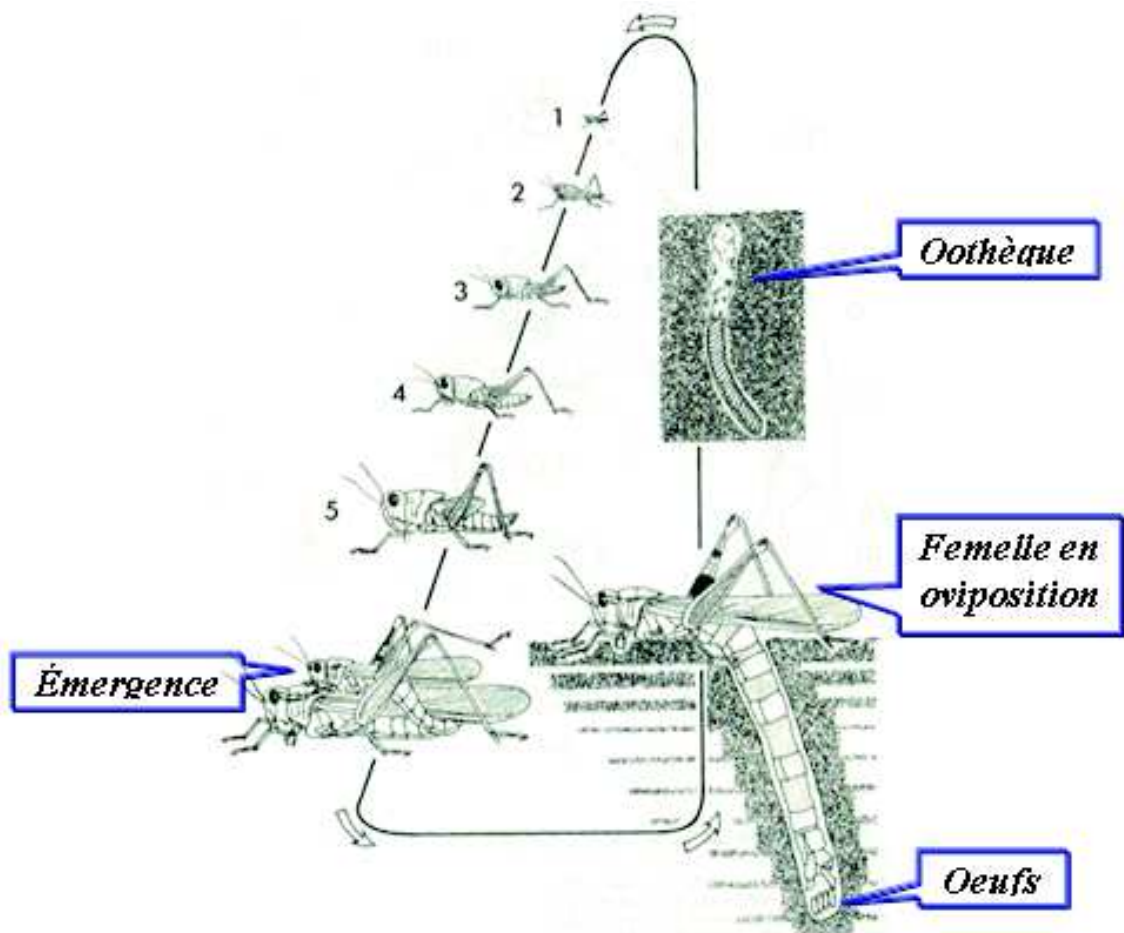


Figure N°3 : Cycle biologique du criquet pèlerin (Duranton et Lecoq, 1990)

Les terrains de reproduction du criquet pèlerin en période de forte activité couvrent un très vaste éventail d'habitats et il n'est pas surprenant que des pontes aient été signalées dans de nombreux types 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 même plus marqué chez les criquets solitaires.

1-2 : 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 4). Elle est divisée en trois grandes régions : occidentale, centrale et orientale. L'aire de rémission, beaucoup moins étendue, couvre 16 millions de km² environ et intéresse surtout les zones désertiques.

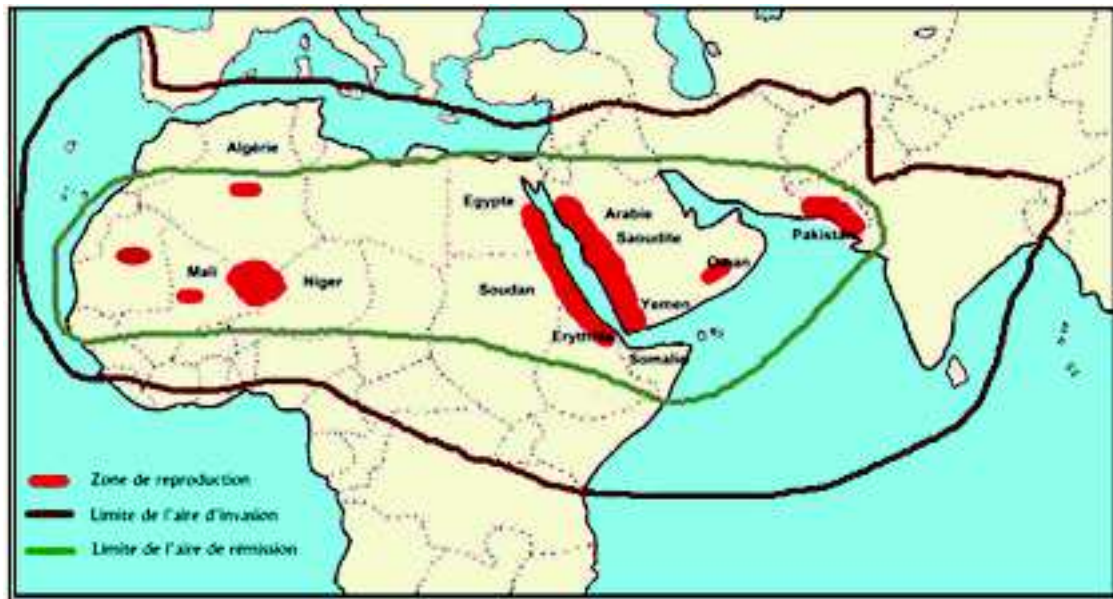


Figure N° 4 : Zones de reproduction et les limites des aires d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin (FAO, 1996)

1-3 : Aires de grégarisation

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. Chacune des trois régions de l'aire d'habitat de cet insecte – occidentale, centrale et orientale - renferme une ou plusieurs aires grégarigènes.

En région occidentale, deux aires grégarigènes distinctes ont été identifiées : les zones frontalières algéro-nigéro-maliennes, le centre, le sud-est mauritaniens. 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 (figure 4).

1-4 : 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 (figure 5) parcourent sont de quelques centaines à plusieurs milliers de kilomètres.



Figure N°5 : Essaim en vol du criquet pèlerin

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 transformer en essaims et de se disséminer rapidement sur des territoires très vastes.

L'installation d'essaims dépend largement du fait que le sol se prête à la ponte. Mais 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 et de lumière (Popov, 1958).

1-5 Phases du polymorphisme

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. 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 (figure 6) 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 une forme grégaire. Le processus de la transformation de phase est réversible.

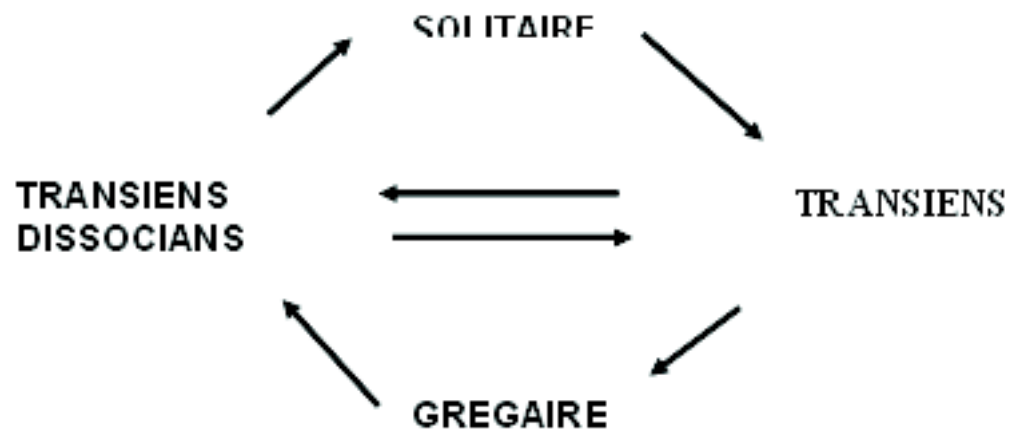


Figure N°6 : Différentes Phases (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994)

A leur point extrême, les deux phases, solitaria et gregaria, 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).

1-6 : Stratégie de lutte

Cette grande mobilité des essaims, leurs longs déplacements, la complémentarité saisonnière des zones de reproduction situées dans des pays différents (nord et sud-sahariens en région occidentale) et la nécessité de prévenir les invasions afin d'éviter leurs conséquences catastrophiques, font du Criquet pèlerin un problème totalement spécifique par rapport aux autres problèmes de défense des cultures et imposent pour cela une coopération bilatérale, régionale et internationale.

Pour lutter contre une invasion, les opérations de lutte chimique à grande échelle demeurent encore le seul moyen disponible. Outre leur coût considérable (300 millions de US\$ contre le criquet pèlerin en 1988), elles posent de nombreux problèmes environnementaux de plus en plus dénoncés du fait de la toxicité des produits et de l'ampleur des zones traitées (26 millions d'hectares en Afrique en 1988 dans 23 pays) concernant souvent des écosystèmes fragiles et riches en espèces endémiques.

La stratégie actuelle de lutte contre cette espèce se veut préventive et repose 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. Le perfectionnement de cet outil d'alerte précoce passe, entre autre, par une meilleure gestion d'une information spatialisée sur le criquet pèlerin et son environnement (Lazar, 2002).

CHAPITRE II : zones de haute fréquence des signalisations

2-1 : Cartographie de zones d'étude

La cartographie de deux régions potentielles de survie et de reproduction du criquet pèlerin dans les régions de Tamanrasset et de Djanet, avait pour objet de décrire les caractéristiques des milieux préférés de cet insecte.

2- 1-1 : Matériel

2-1-1-1 : Cartes utilisées

Les systèmes d'information géographique exploitent deux types différents de modèles géographiques ou cartes (Bernard et al 1997):

A- Le modèle vecteur, les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées x, y. Les objets de type ponctuel sont, dans ce cas, représentés par un simple point. Les objets linéaires (routes, fleuves ...) sont représentés par une succession de coordonnées x, y. Les objets polygonaux (territoire géographique, parcelle,...) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée.

B- Le modèle raster est constitué d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres. Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol.

Afin d'effectuer les cartes thématiques pour la réalisation du système d'information géographique, 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 (Figure 7).

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.

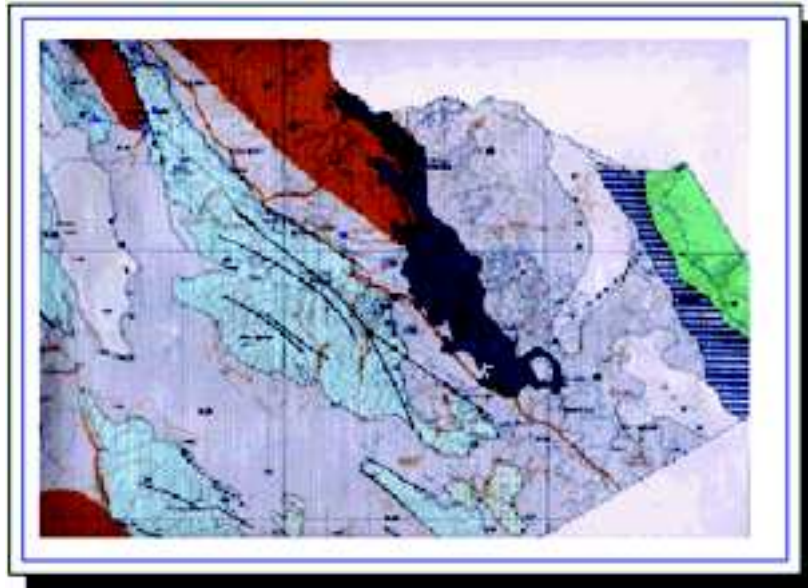


Figure N° 7: Carte hydrogéologique 1.000.000 de la région de Djanel: 9 à 12°E et 23 à 25° N (Institut National de la Cartographie)

2-1-2 : Méthode

2-1-2-1 Réalisation d'un système d'information géographique

Un système d'information géographique (SIG) est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toute existence sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent (Aronoff, 1989).

Le SIG offre toutes les possibilités d'interroger des bases de données, telles que les requêtes et les analyses statistiques. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil s'adressant à une très grande variété d'applications.

2-1-2-1-1 Scannérisation des cartes

Les cartes hydrogéologiques ont été scannées, enregistrées sous forme d'images TIF à l'aide du logiciel PhotoShop, logiciel de retouches d'images, puis récupérées sous Arc View logiciel de cartographie.

2-1-2-1-2 : Géoréférencement des cartes

Géoréférencer ou caler une carte, signifie : entrer des coordonnées géographiques dans une projection définie et indiquer quels points de l'image correspondent à ces coordonnées. C'est un processus qui consiste à établir une relation (mathématique) entre des coordonnées papier (centimètres ou millimètres) sur une carte plane et des coordonnées réelles géographiques (Bernard et al 1997).

Le géoréférencement nécessite la reconnaissance des coordonnées d'un certain nombre de points (points de calage ou TIC) dans l'un et l'autre des systèmes.

2-1-2-1-3 : Numérisation des entités

La numérisation est un processus qui consiste à encoder la description géométrique d'objets géographiques (points, lignes, polygones, ...) sous forme numérique (série de paires de coordonnées x, y).

2-1-3 : Résultats

2-1-3-1 : Description des habitats

La digitalisation nous a permis de mettre en évidence plusieurs couches caractéristiques des régions de reproduction du criquet pèlerin. Nous avons pu produire des cartes thématiques (figure 8 et 9), représentant la nature géologique du paysage désertique des deux régions de Tamanrasset et Djanet):

2-1-3-1-1 : Les regs, hamadas et montagnes : représentent l'essentiel du paysage des biotopes sahariens, renfermant plusieurs couches rocheuses :

- Les conglomérats : ensemble cimenté formé de grains de tailles très diverses, notamment des cailloux ou des galets et parfois aussi des blocs.
- Les Grés : couche la plus représentative, formée de grains de sable de composition granulaire relativement homogène, mais englobés dans une matrice fine et liée par un ciment.
- Le granite : roche d'origine magmatique formée essentiellement de quartz, de feldspath et de mica noir et aussi d'autres minéraux. Dans le même granite, l'association des minéraux varie entre certaines, qui donnent au granite en question son homogénéité. Le granite forme les montagnes des zones désertiques, en général dépourvues de couverture végétale continue et même de sol, et souvent ravinées. La surface des versants est hérissée de blocs qui lui donne un aspect pierreux (Pellant, 2001).

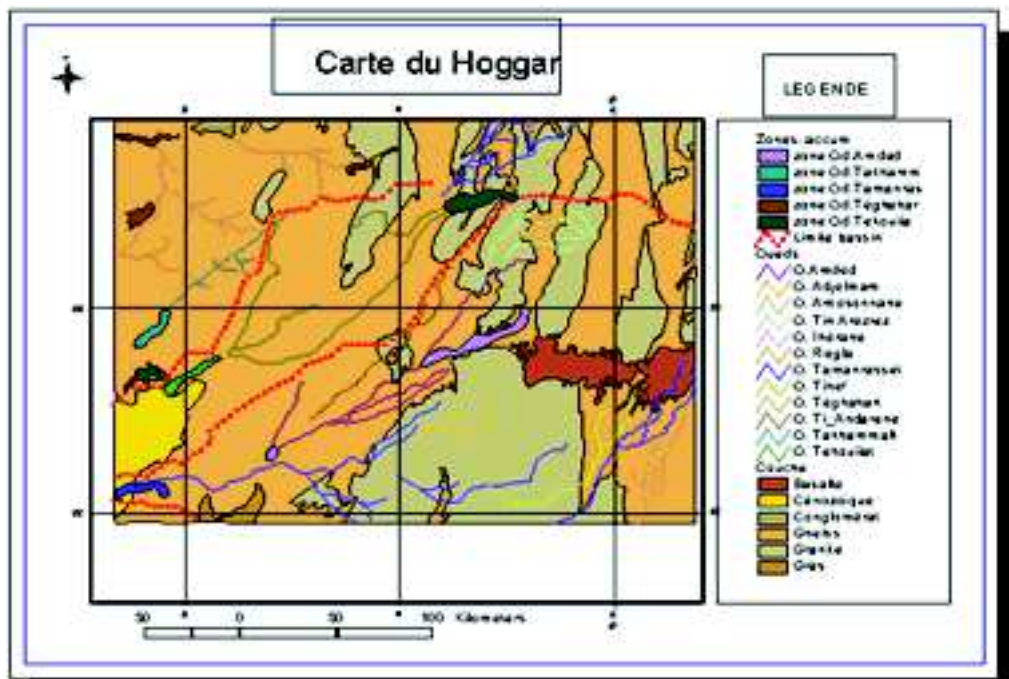


Figure N° 8 : Carte géomorphologique de Hoggar digitalisée

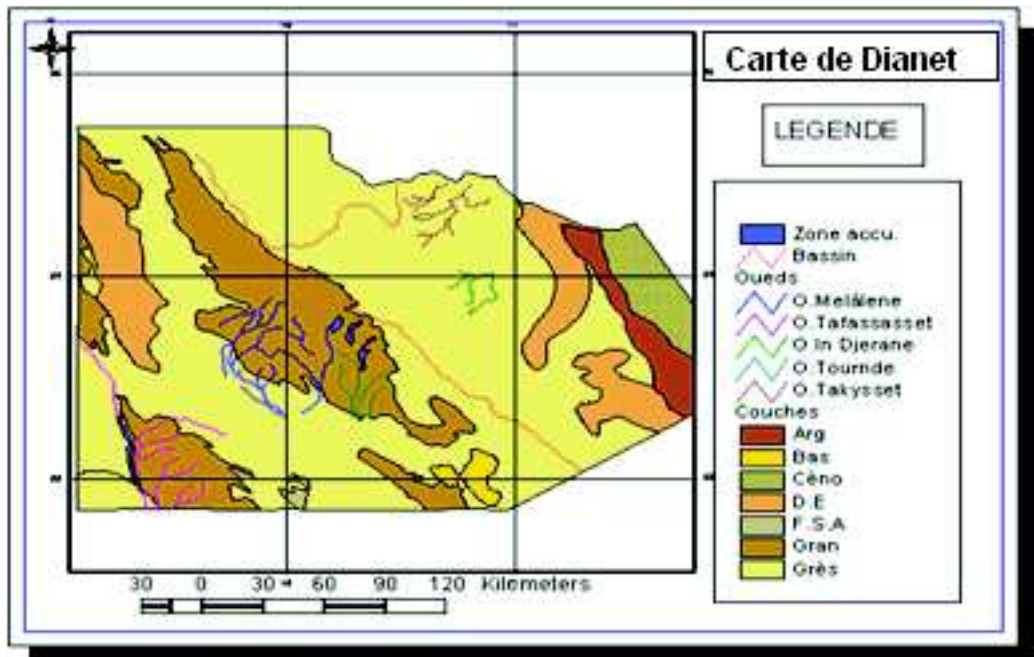


Figure N° 9 : Carte géomorphologique de Djanet digitalisée

2-1-3-1-2: Les dunes (ergs) :

formation géologique qui se présentant soit isolées, soit en champs de dunes séparées ou de dunes jointives (figure 10) : cas des ergs.



Figure N°10 : Dune de sable caractéristique du paysage désertique (Tamanrasset)

2-1-3-1-3: Les Oueds :

Les principaux Oueds des deux régions prennent naissance sur les piedmonts des massifs rocheux caractérisant le désert. Durant les périodes des pluies, les eaux générées par les orages y coulent.

Les principaux Oueds des deux régions sont O. Tamanrasset, O. Amded, O. Tekouiiat dans la région du Hoggar et O. Takysset et O. Tafassasset, pour la région de Djanet (figure11).



Figure N° 11 : Oued traversant une montagne (Tamanrasset)

2-1-3-1-4: Zones d'accumulation et d'épandage des eaux

Les eaux des pluies véhiculées par ces Oueds, s'accumulent dans des zones d'accumulation et d'épandage imperméables à l'infiltration (figure 12). Ces zones, par la texture sablo-argilo-limoneuse de leur sol et leur richesse en végétation, constituent des milieux très favorables à la multiplication du Criquet pèlerin.



*Figure N°12 : Zone d'accumulation et d'épandage
au niveau du plateau de Tadmait (Tamanrasset)*

2-1-4 Discussion et conclusion

Le paysage des biotopes à criquet pèlerin est dominé essentiellement par les regs, hamadas et les affleurements rocheux. Les oueds, les zones d'accumulation des eaux de pluie et les ergs ne représentent qu'une faible superficie de la surface globale. Le même constat a été fait par (Ozenda, 1983) en étudiant les caractéristiques du paysage désertique et (Popov et al, 1991), sur les différents biotopes du criquet pèlerin en Afrique occidentale.

2-2 : Délimitation des zones de signalisations

La délimitation des zones de forte fréquence des signalisations, a été réalisée par l'analyse de la base de données des 14 années d'observations sur le terrain, durant la période de rémission de 1990 à 2003, excepté les années 1995 et 1996 de fortes recrudescences acridiennes.

Nous avons étudié la répartition des signalisations pour trois périodes : estivale, automno-hivernale et printanière.

2-2-1 : Matériel

2-2-1-1 : Base de données utilisée

La base de données utilisée dans ce travail comprend 4000 relevés de terrain, effectués par les équipes de prospection et de lutte contre le criquet pèlerin de l'Institut National de la Protection des Végétaux dans le sud algérien.

Cette base de données concerne trois périodes différentes:

- La période estivale s'étalant du mois de juin au mois de septembre ;
- La période automno-hivernale s'étalant d'octobre à janvier ;
- La période printanière qui s'étale de février à mai.

2-2-2 : Méthode

Cette méthode consiste à rajouter des données tabulaires externes à des données géographiques.

Les relevés renferment plusieurs informations :

- coordonnées géographiques relevées à l'aide d'un GPS (centre)
- relevées de la végétation
- nature du sol
- présence du criquet
- superficies occupées par la végétation

Zones de reproduction potentielles du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskal. 1775 dans le sud algérien

La fréquence des signalisations a été calculée par degré carré, à partir de 19° parallèle (limite Sud) jusqu'à 32° parallèle (limite Nord), sur un nombre total de 194 degrés carrés (figure 13).

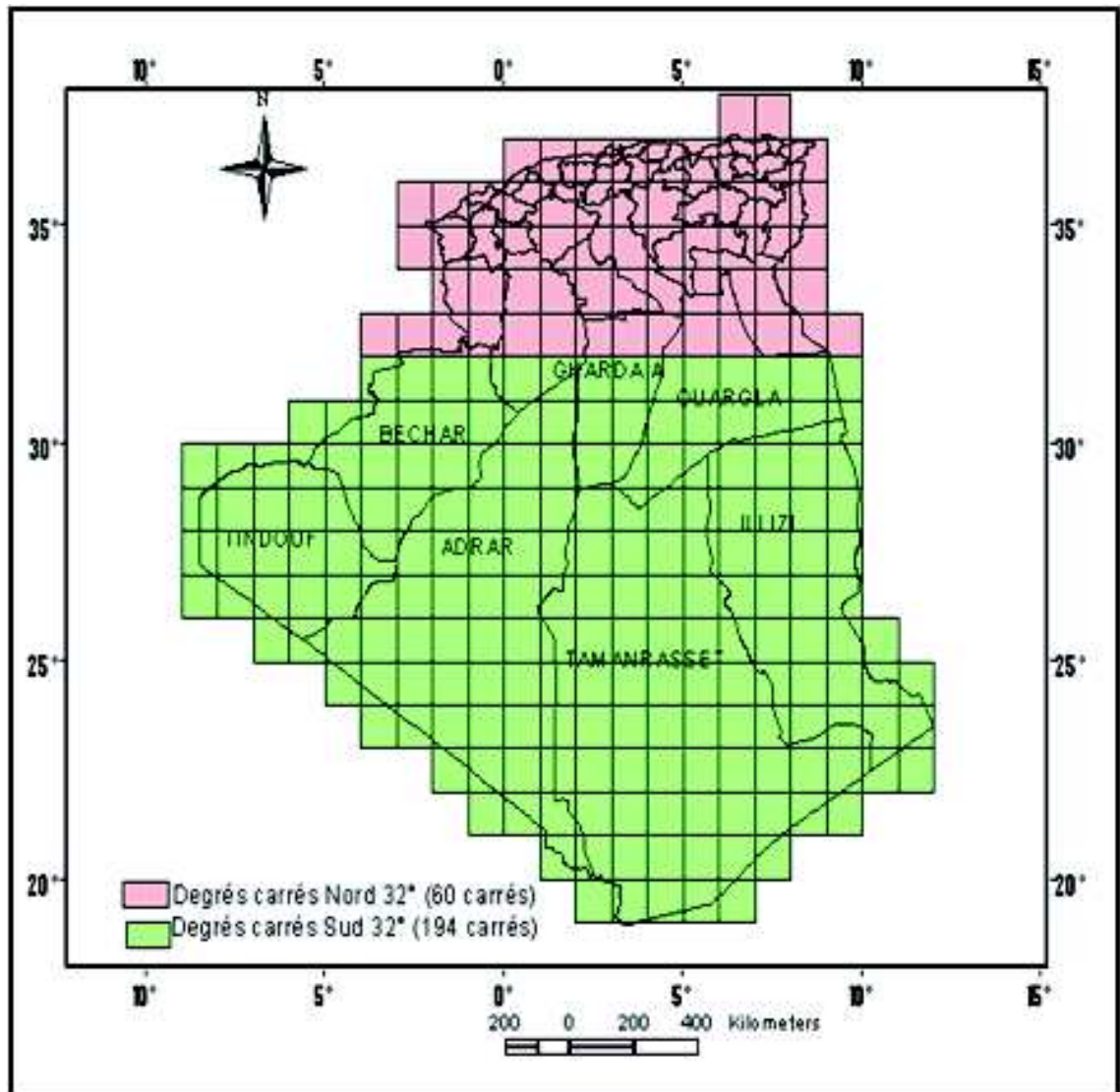


Figure N° 13 : Découpage de l'Algérie en 254 degrés carrés

2-2-2-1 : Echelle utilisée

L'échelle utilisée pour la réalisation de cette étude est celle initiée par (Popov et al 1991) pour effectuer les cartes de fréquences en périodes de rémission et d'invasion dans les zones d'activités du criquet pèlerin.

- La fréquence supérieure à 50 % des 12 années : degrés carrés de forte fréquence des signalisations.
- La fréquence inférieure à 50% et supérieure ou égale à 25% : degrés carrés de moyenne fréquence des signalisations.
- La fréquence inférieure à 25% et supérieure à zéro : degrés carrés de faible fréquence des signalisations.

- La fréquence nulle : degrés carrés non colonisables par le criquet pèlerin.

2-2-3 : Résultats

2-2-3-1 : Distribution spatio-temporelle des signalisations

2-2-3-1-1 : Période estivale

Les degrés carrés représentant les fréquences les plus élevées durant la période estivale concernent les zones de l'extrême sud comprises entre le 19° et 24° de latitude Nord et entre 1° et 7° de longitude Est (figure 14). Il apparaît aussi sur les tableaux 1, 2 et les figures 17, 18:

- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences les plus élevées couvrent 4,1% (8 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences moyennes couvrent 9,7% (19 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences faibles couvrent 8,2% (16 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences nulles couvrent 78% (151 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).

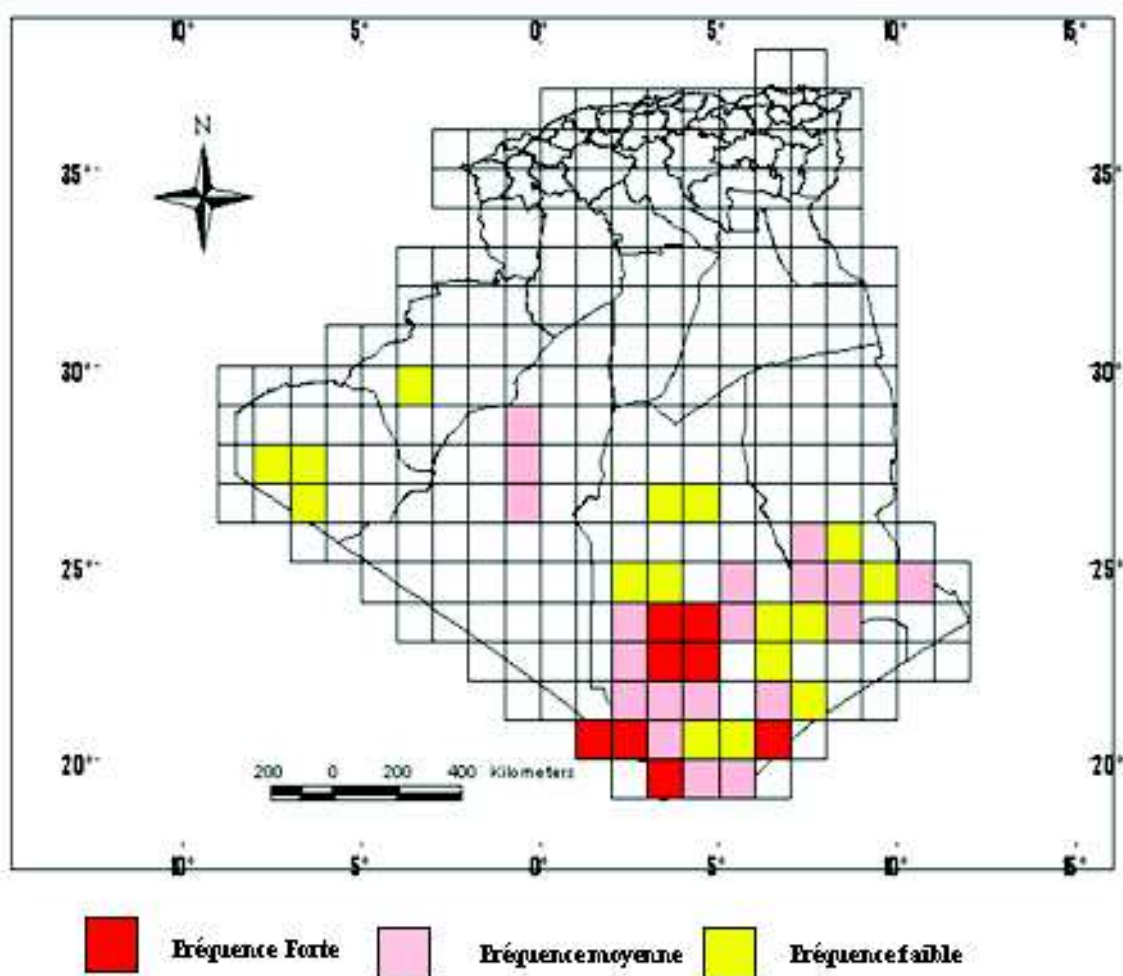


Figure N°14: Carte de fréquences des signalisations en période estivale

2-2-3-1-2: Période automno-hivernale

Les degrés carrés représentant les fréquences les plus élevées des signalisations durant la période automno-hivernale couvrent les zones de l'extrême sud jusqu'au Sahara central, comprises entre le 20° et 25° de latitude Nord et du -1° et 11° de longitude Ouest – Est (Figure 15). Il apparaît aussi sur les tableaux 1, 2 et les figures 17, 18:

- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences les plus élevées couvrent 5,1% (10 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences moyennes couvrent 13,4% (26 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences faibles couvrent 19% (37 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences nulles couvrent 62,5% (121 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).

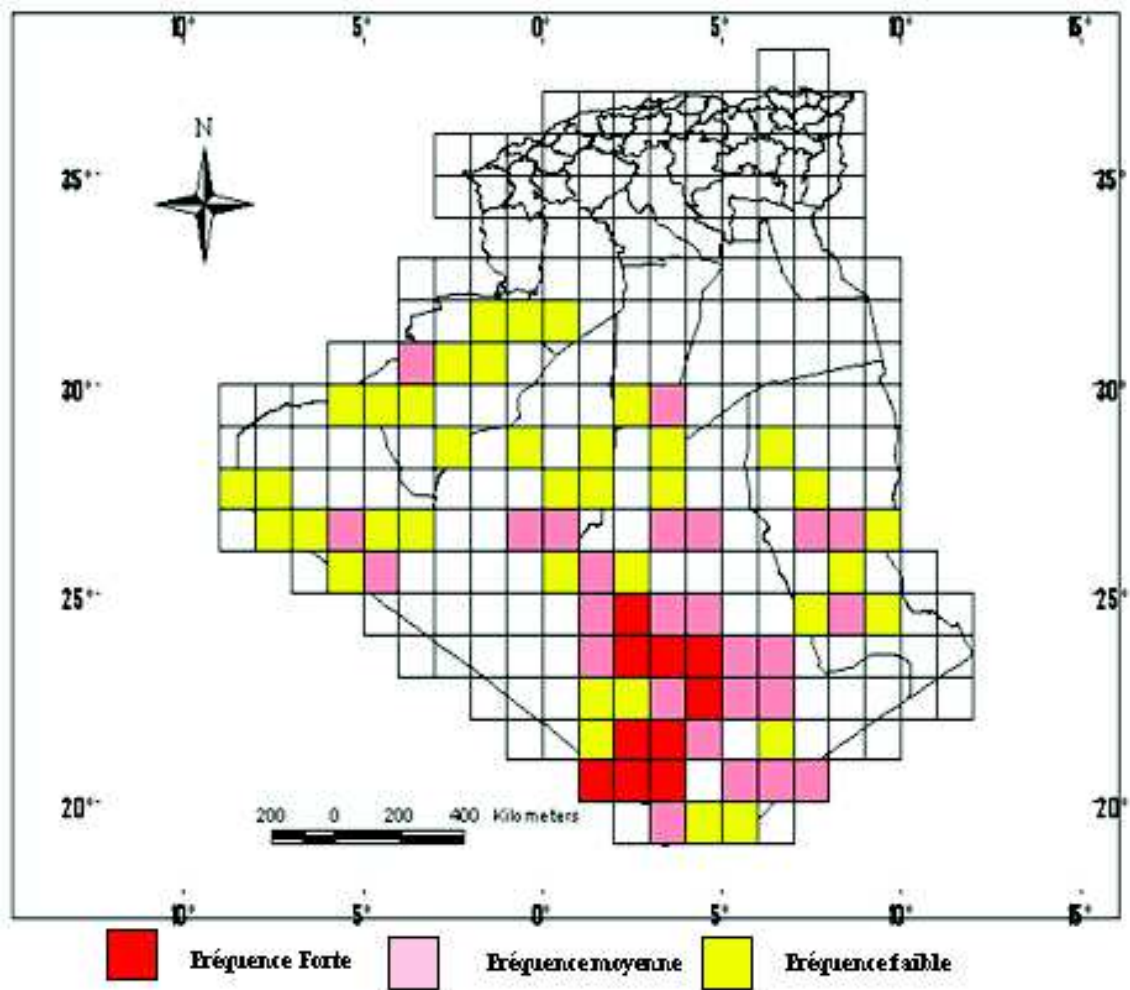


Figure N°15: Carte de fréquences des signalisations en période automno-hivernale

2-2-3-1-3: Période Printanière

Les degrés carrés représentant les fréquences les plus élevées durant la période printanière couvrent les zones de la partie Nord du Hoggar, Sahara central, Tassili et le Sud Ouest, comprises entre le 23° et 30° de latitude Nord et entre -5° et 11° de longitude Ouest-Est (figure 16). Il apparaît aussi sur les tableaux 1, 2 et les figures 17, 18:

- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences les plus élevées couvrent 3,6% (7 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences moyennes couvrent 3% (06 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences faibles couvrent 13,4% (26 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).
- Les degrés carrés qui ont enregistré les fréquences nulles couvrent 80% (155 degrés carrés) par rapport à la surface totale de l'aire d'habitat (194 degrés carrés).

Zones de reproduction potentielles du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskal. 1775 dans le sud algérien

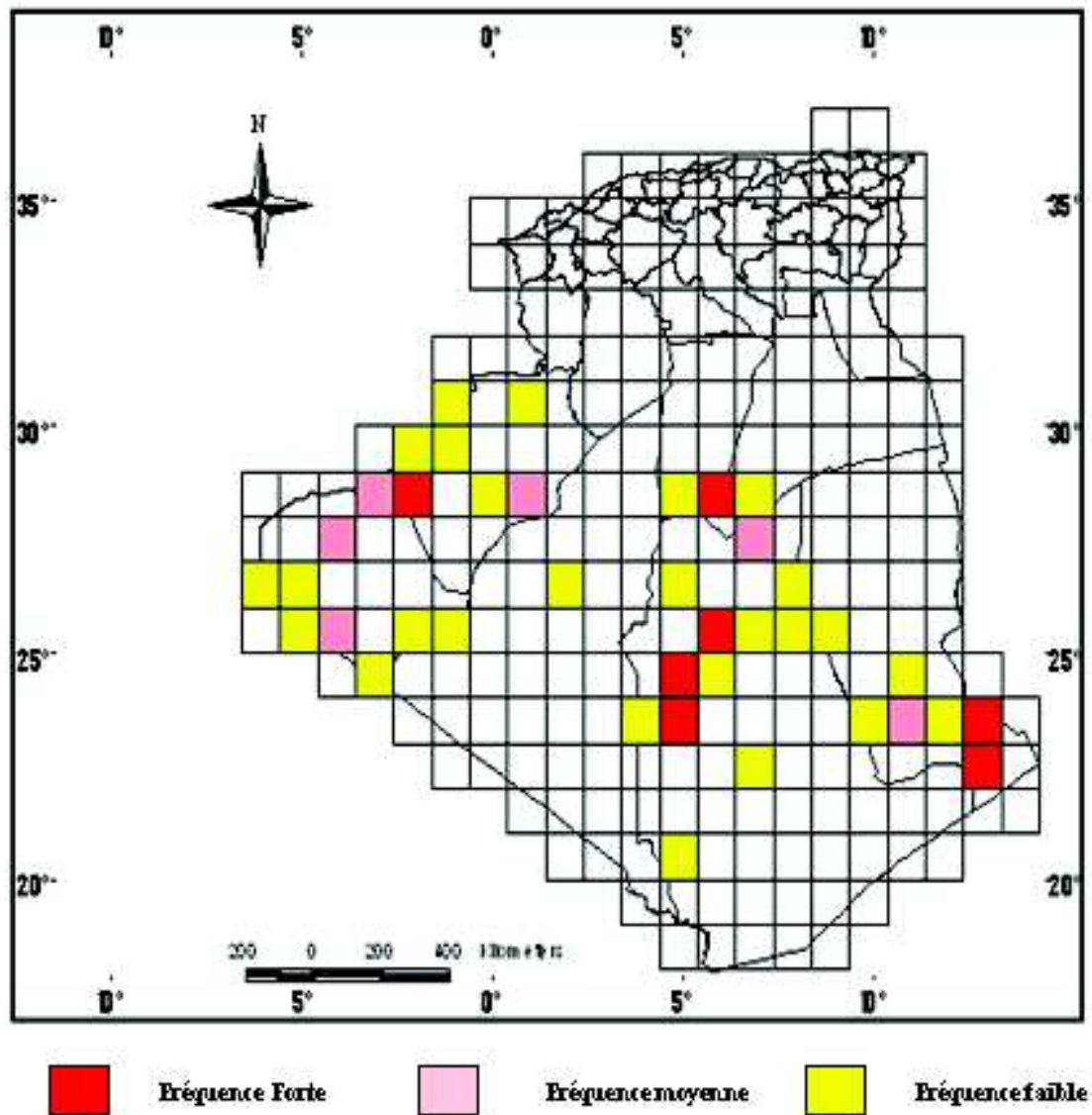


Figure n°16 : Carte de fréquences des signalisations durant période printanière

Tableau N°1 : Fréquence des signalisations par degrés carrés

Signalisation\Période	Estivale	Automno-hivernale	Printanière
Signalisation Forte	8	10	7
Signalisation moyenne	19	26	6
Signalisation faible	16	37	26
Signalisation nulle	151	121	155
Total	194	194	194

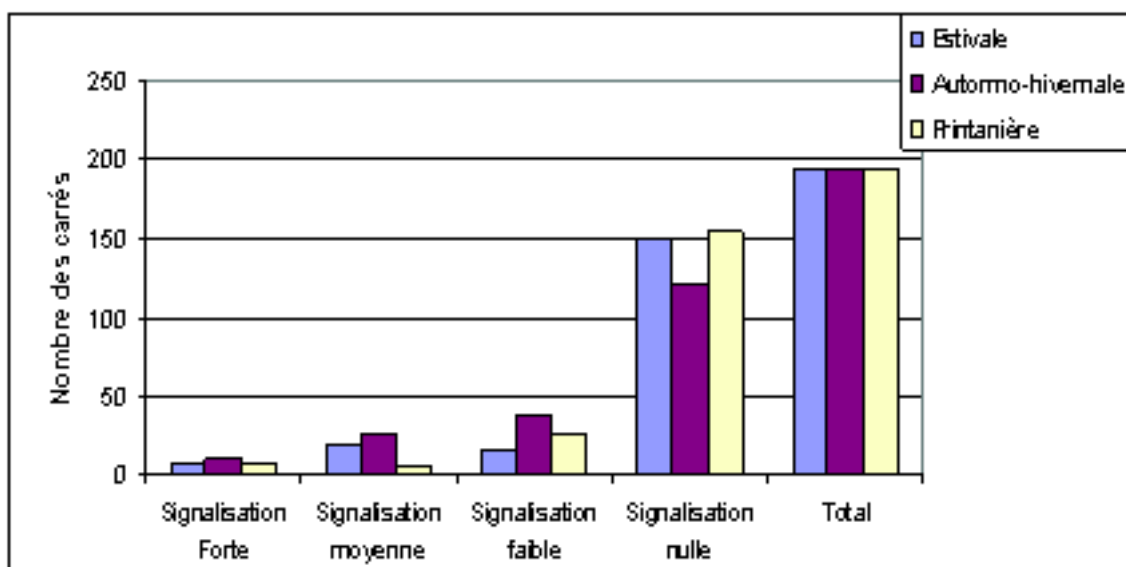


Figure N°17: Fréquence des signalisations par degrés carrés

Tableau N°2: Fréquence relative des signalisations

Signalisation\Période	Estivale	Automno-hivernale	Printanière
Signalisation Forte	4,1	5,1	3,6
Signalisation moyenne	9,7	13,4	3
Signalisation faible	8,2	19	13,4
Signalisation nulle	78	62,5	80
Total	100	100	100

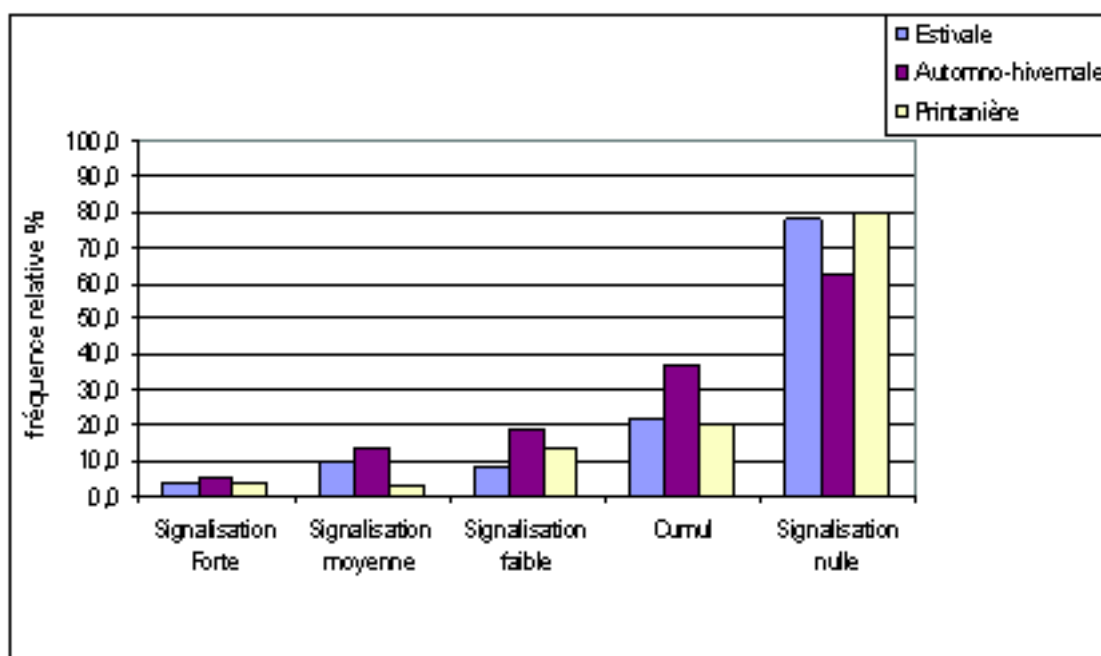


Figure N° 18: Fréquence relative des signalisations

2-2-3-2 : Les biotopes colonisables par le criquet pèlerin

La fréquence des signalisations du criquet pèlerin en phase solitaire durant les différentes saisons de l'année, nous a permis d'identifier deux sortes de biotopes : Les Biotopes hautement favorables et les biotopes moyennement et faiblement favorables.

Les biotopes colonisés par le Criquet pèlerin ne couvrent qu'une faible partie de la surface du milieu désertique compris entre le 19^{ième} et le 32^{ième} parallèle Nord.

En effet, durant les trois périodes : estivale, automno-hivernale et printanière les degrés carrés colonisables par le criquet pèlerin ne représentent que respectivement 22% ; 37,5% et 20% de la surface totale (figure 19).

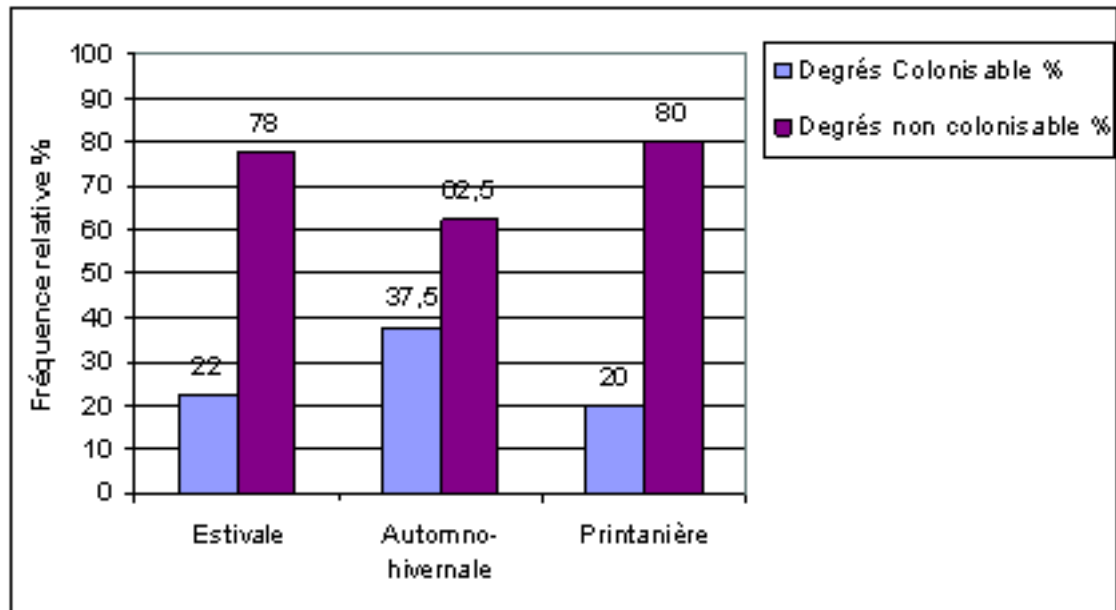


Figure N° 19: Cumul des fréquences relatives des signalisations

2-2-3-2-1 : Les Biotopes hautement favorables

Les biotopes hautement favorables au criquet pèlerin sont représentés par les milieux qui offrent d'une façon régulière au criquet la possibilité de survivre et de se reproduire. Il s'agit principalement des oueds, des dépressions en zone d'épandage, des cuvettes et des interdunes. Ces biotopes couvrent 4,1%, 5,1% et 3,6% respectivement pour les trois périodes sur l'ensemble des zones sahariennes.

La composition du sol de ces biotopes est d'une structure variée allant du sablo-limoneux à argileux en passant par le limono-sableux, sablo-argileux et argilo-sableux. Dans ces biotopes pousse une végétation très diversifiée et stratifiée (espèces annuelles, pluri-annuelles et pérennes) dominée par les espèces des genres *Tribulus*, *Farsetia*, *Astragalus*, *Heliotropium*, *Boheravia*, *Colocynthis*, *Fagonia* et *Schouwia* (Popov et al 1991, Chara 2003).

2-2-3-2-2 : Les biotopes moyennement et faiblement favorables

Les biotopes considérés comme moyennement ou faiblement favorables sont ceux qui offrent d'une façon occasionnelle la possibilité de survivre et de se reproduire au criquet pèlerin. Par années favorables ces biotopes bénéficient de conditions écologiques favorables. Il s'agit généralement des biotopes limitrophes aux zones arrosées habituellement par les pluies estivales et printanières.

Ces biotopes couvrent 17,9%, 32,4 et 16,4 respectivement pour les trois périodes sur l'ensemble des zones sahariennes.

2-2-3-3 : Les biotopes non colonisables par le criquet pèlerin

Ces biotopes n'offrent aucune possibilité de survie ou de développement pour le criquet pèlerin. Ils représentent l'essentiel du paysage désertique. Il s'agit des surfaces représentées le plus souvent par les milieux rocheux (massifs), rocailleux (regs) et sablonneux (ergs).

Ces biotopes couvrent une moyenne de 73,5% pour les trois périodes sur l'ensemble des zones sahariennes.

2-2-4 : Discussion

Les biotopes où les fréquences des signalisations ont été les plus élevées, durant la période considérée (12 années) se situent respectivement du sud au nord dans le Tamesna algéro-nigéro-malien, sud-ouest du Hoggar, Tassili N'Najer, au nord-est du plateau de Tadmait (Sahara central) et les périmètres de mises en valeur.

En général, les biotopes colonisables par le criquet pèlerin au sud algérien, se trouvent à l'intérieur d'un territoire qui correspond approximativement à une bande latitudinale comprise entre le 19^{ième} et le 32^{ième} parallèle Nord. Cette bande renferme surtout les lits d'oueds, les zones d'épandage des eaux de pluies, les inter-dunes et les cuvettes où s'accumulent les eaux de ruissellement.

Cette topographie permet ainsi l'installation d'un couvert végétal abondant, diversifié et d'une pérennité pouvant assurer au criquet une activité biologique durant les trois périodes de reproduction.

Plusieurs études réalisées aux niveaux des aires de hautes fréquences dans la région occidentale (Popov et al, 1991) et (Popov, 1997), ont montré que le criquet pèlerin à l'état solitaire colonise des régions écologiquement favorables, qui lui offrent la possibilité de se développer et de se reproduire sur place.

2-2-5 : Conclusion

Le paysage désertique des biotopes du criquet pèlerin est dominé par les ergs caillouteux et les ergs sablonneux. Les zones qui assurent au criquet pèlerin la survie et le développement, sont celles qui gardent l'humidité et permettent à la végétation de se développer au niveau des lits d'oueds et les zones d'accumulation des eaux des pluies.

Durant la période estivale le criquet pèlerin colonise les zones méridionales, qui bénéficient en cette période des pluies de mousson, générées par la remontée du Front Intertropical qui commencent généralement dès le mois de juin et s'étalent parfois jusqu'au mois d'octobre.

Le criquet pèlerin y trouve des conditions écologiques favorables pour son maintien. Ces biotopes se limitent essentiellement aux zones d'accumulation et d'épandage des principaux oueds de l'extrême sud (Amded, Tamanrasset, Djouden, Agdem...) et le Tamesna algéro-nigéro-malien.

Les zones les plus représentatives durant la période automno-hivernale sont situées en plein couloir extrême sud – Sahara central compris entre 20° et 25° Nord et 1° Ouest et 5° Est. Dans ces régions s'exerce une complémentarité écologique saisonnière été – automne - hiver permettant aux adultes de se déplacer le long de ce couloir. Ce mouvement est conditionné par la pluie et la végétation. En effet les criquets quittent les zones méridionales après le retrait du FIT et le dessèchement de la végétation à la fin des saisons de pluies, vers le Nord (coffins du Hoggar et Sahara central).

Au printemps, les fortes signalisations des solitaires les plus septentrionales sont enregistrées souvent dans des milieux :

- artificiels (périmètres irrigués), cas des régions d'Abadla, d'Illizi et Adrar (Annexe 1). Le criquet trouve, dans ces milieux, une végétation constituée des espèces végétales cultivées sous pivots et des plantes adventices au niveau des bordures et canaux d'évacuation.
- sahariens soumis à l'influence méditerranéenne et atlantique (Sahara Central, Oriental et Occidental) ; occupés par une végétation très diversifiée.
- situés dans les régions Nord et Ouest du Hoggar et du Tassili N'Ajer. Ces zones offrent un tapis végétal très varié, notamment au niveau des lits des grands oueds.

CHAPITRE III:LA TELEDETECTION: analyse d'information sur la végétation

L'être humain ne peut véritablement interpréter que des mécanismes qu'il connaît. S'il se trouve confronté à des mécanismes peu ou mal connus, il fait des hypothèses, procède par comparaison pour arriver à des déductions, dont il ne sait pas si elles sont valables pour la seule zone d'étude, ou si elles sont extrapolables à d'autres zones.

Cette démarche a été, et l'est encore dans certains cas, utilisée. C'est le fait, soit de thématiciens utilisant pour la première fois la télédétection dans leur discipline, soit de «télédétecteurs» ayant à résoudre un problème précis dans une discipline qu'ils ne connaissent pas bien.

Une telle méthode peut être acceptée pour une première approche, autant elle est à proscrire pour celui qui désire utiliser les données de télédétection de façon systématique. En effet, elle conduit à de graves erreurs de raisonnement, se traduisant par des conclusions plus erronées encore.

C'est pourquoi cette partie rassemble quelques données de base, indispensables à une compréhension des phénomènes étudiés, c'est-à-dire, à l'interaction des différentes longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique, utilisées en télédétection, avec l'eau, les végétaux, les sols. Il aborde aussi d'autres thèmes tels que les perturbations dues à l'atmosphère, les notions de contraste... (Anonyme, 1992)

3-1 Définition

La télédétection est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir de l'information sur un objet, un territoire ou un phénomène géographique à travers l'analyse de données acquises à distance sans contact direct avec cet objet, ce territoire ou ce phénomène géographique (Anonyme, 1994)

Le principal objectif de la télédétection est de cartographier et de suivre les ressources classiques. La télédétection par satellite est précise, rapide et économique.

3-2 Les Bases physiques de la télédétection

3-2-1 Le rayonnement électromagnétique

Une source d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique est nécessaire pour illuminer la cible, à moins que la cible ne produise elle-même cette énergie. Tout

rayonnement électromagnétique possède des propriétés fondamentales et se comporte de façon prévisible (Bonn et Rochon 1992).

Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M). Le champ électrique varie en grandeur et orienté de façon perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière (C).

Pour comprendre la télédétection, il est indispensable de saisir les deux composantes du rayonnement électromagnétique que sont la longueur d'onde et la fréquence.

La longueur d'onde : équivaut à la longueur d'un cycle d'une onde, ce qui correspond à la distance entre deux crêtes successives d'une onde. La longueur d'onde est représentée habituellement par la lettre grecque lambda (λ), et est mesurée en mètres ou en l'un de ces sous-multiples tels que les nanomètres (10^{-9} mètre), micromètres (10^{-6} mètre) ou centimètres (10^{-2} mètre).

La fréquence : représente le nombre d'oscillations par unité de temps. Elle est mesurée en Hertz.

La formule suivante illustre la relation entre la longueur d'onde et la fréquence.

$$C = \lambda \cdot \nu$$

C : vitesse de la lumière

λ : Longueur d'onde

ν : Fréquence

La longueur d'onde et la fréquence sont donc inversement proportionnelles, c'est-à-dire que plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et inversement.

3-2-2 Classification du rayonnement électromagnétique

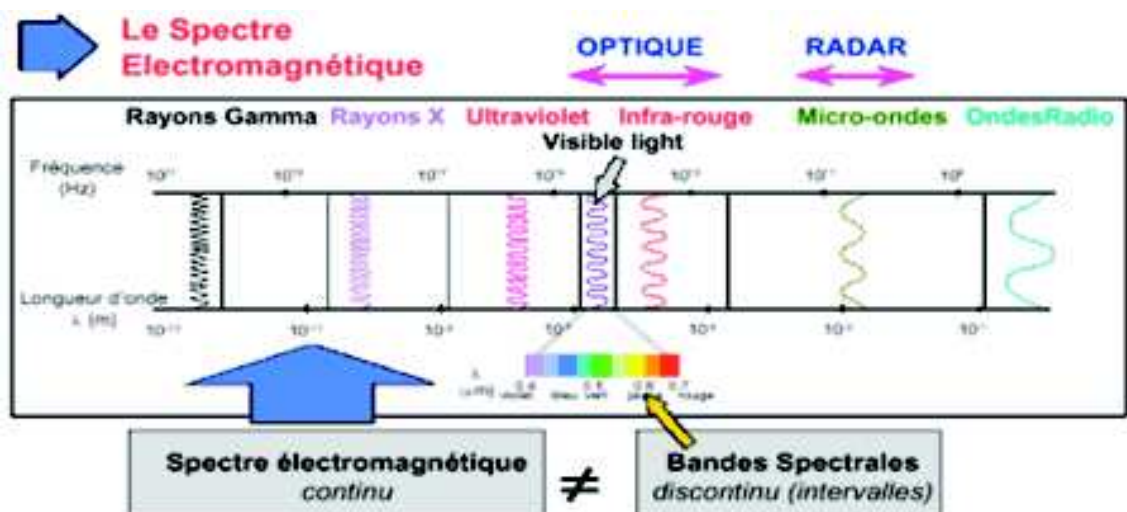


Figure n°20 : Spectre électromagnétique (Benzineh, 2002)

A- Ultraviolet

Les plus petites longueurs d'onde utilisées pour la télédétection, se situent au delà du violet de la partie du spectre visible. Certains matériaux de la surface terrestre, surtout les roches et des minéraux, entrent en fluorescence ou émettent de la lumière visible quand ils sont illuminés par un rayonnement ultraviolet.

B- Spectre visible

La partie que nos yeux peuvent déceler se trouve dans ce qui s'appelle le spectre visible. Il est important de constater que le spectre visible représente une bien petite partie de l'ensemble du spectre. Une grande partie du rayonnement électromagnétique qui nous entoure est invisible à l'œil nu, mais il peut cependant être capté par d'autres dispositifs de télédétection.

Les longueurs d'onde visibles s'étendent de 0,4 à 0,7 μm . La couleur qui possède la plus grande longueur d'onde est le rouge, alors que le violet a la plus courte. Les longueurs d'onde du spectre visible que nous percevons comme des couleurs communes sont énumérées ci-dessous. Il est important de noter que c'est la seule portion du spectre que nous pouvons associer à la notion de couleur.

- **Violet** : 0,4 – 0,446 μm
- **Bleu** : 0,446 – 0,5 μm
- **Vert** : 0,5 – 0,578 μm
- **Jaune** : 0,587 – 0,592 μm
- **Orange** : 0,592 – 0,620 μm
- **Rouge** : 0,620 – 0,7 μm

Le bleu, le vert et le rouge sont les couleurs (ou les longueurs d'onde) primaires du spectre visible. Une couleur primaire ne peut être créée par deux autres couleurs, mais toutes les autres couleurs peuvent être créées en combinant les couleurs primaires.

C- Infrarouge

L'infrarouge (IR) s'étend approximativement de 0,7 à 100 μm , ce qui est un intervalle environ 100 fois plus large que le spectre visible. Il se divise en deux catégories : **IR réfléchi** et **IR thermique**. Le rayonnement dans la région de l'infrarouge réfléchi est utilisé en télédétection de la même façon que le rayonnement visible. L'infrarouge réfléchi s'étend approximativement de 0,7 à 3 μm . L'infrarouge thermique est très différent du spectre visible et de l'infrarouge réfléchi. Cette énergie est essentiellement le rayonnement qui est émis sous forme de chaleur par la surface de la terre et s'étend approximativement de 3 à 100 μm .

D- Hyperfréquence

Cette région comprend les plus grandes longueurs d'onde utilisée en télédétection et s'étend approximativement de 1 mm à 1 m. Les longueurs d'onde les plus courtes possèdent des propriétés semblables à celles de l'infrarouge thermique, tandis que les longueurs d'onde les plus grandes ressemblent aux ondes radio.

3-2-3 : Interactions avec l'atmosphère

Avant que le rayonnement utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la terre, celui-ci doit traverser une certaine épaisseur d'atmosphère. Les particules et les gaz dans

l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident. Ces effets sont causés par les mécanismes de diffusion et absorption (Reeves et al 1975).

A- La diffusion : se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. Le niveau de diffusion dépend de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules, et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir. Il existe trois types de diffusion :

- La diffusion de Rayleigh : se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement. Celles-ci peuvent être soit des particules de poussière ou des molécules d'azote ou d'oxygène. La diffusion de Rayleigh disperse et dévie de façon plus importante les courtes longueurs d'onde que les grandes longueurs d'onde. Cette forme de diffusion est prédominante dans les couches supérieures de l'atmosphère. Ce phénomène explique pourquoi nous percevons un ciel bleu durant la journée. Comme la lumière du soleil traverse l'atmosphère, les courtes longueurs d'onde (correspondant au bleu) du spectre visible sont dispersées et déviées de façon plus importante que les grandes longueurs d'onde.
- La diffusion de mie : se produit lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Ce type de diffusion est souvent produit par la poussière, le pollen, la fumée et l'eau. Ce genre de diffusion affecte les plus grandes longueurs d'onde et se produit surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les grosses particules sont plus abondantes. Ce processus domine quand le ciel est ennuagé.
- La diffusion non sélective : ce genre de diffusion se produit lorsque les particules (les gouttes d'eau et les grosses particules de poussière) sont beaucoup plus grosses que la longueur d'onde du rayonnement. Nous appelons ce genre de diffusion " non-sélective", car toutes les longueurs d'onde sont dispersées. Les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc. C'est pourquoi le brouillard et les nuages nous paraissent blancs.

B – l'Absorption : Ce phénomène survient lorsque les grosses molécules de l'atmosphère (ozone, bioxyde de carbone et vapeur d'eau) absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde. L'ozone absorbe les rayons ultraviolets qui sont néfastes aux êtres vivants. Le bioxyde de carbone est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Ce gaz absorbe beaucoup de rayonnement dans la portion infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur de l'atmosphère. La vapeur d'eau absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde et des hyperfréquences de petites longueurs d'ondes qui entrent dans l'atmosphère (entre 1 et 22 μ m).

Parce que ces gaz et ces particules absorbent l'énergie électromagnétique dans des régions spécifiques du spectre, ils influencent le choix de longueurs d'ondes utilisées en télédétection. Les régions du spectre qui ne sont pas influencées de façon importante par l'absorption atmosphérique, et qui sont utiles pour la télédétection, sont appelées les fenêtres atmosphériques.

En comparant les caractéristiques des deux sources d'énergie les plus communes (le soleil et la terre) avec les fenêtres atmosphériques disponibles, nous pouvons identifier les longueurs d'onde les plus utiles pour la télédétection.

3-2-4 Interaction rayonnement - cible

Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre et interagir avec la surface de la terre. Lorsque l'énergie atteint la cible, la surface peut absorber l'énergie, la transmettre ou réfléchir l'énergie incidente.

En télédétection, nous mesurons le rayonnement réfléchi par la cible. Il y a deux modes de réflexion :

- La réflexion spéculaire : une surface lisse produit une réflexion spéculaire, c'est-à-dire que toute l'énergie est re-dirigée dans une même direction (comme c'est le cas d'un miroir).
- La réflexion diffuse : se produit quand la surface est rugueuse, ce qui re-dirige l'énergie uniformément dans toutes les directions.

La plupart des objets de la surface terrestre se situent entre ces deux extrêmes. La façon dont une cible réfléchit le rayonnement dépend de l'amplitude de la rugosité de la surface par rapport à la longueur d'onde du rayonnement incident. Si la longueur d'onde du rayonnement est beaucoup plus petite que la grosseur des particules qui composent la surface, la réflexion diffuse domine. Par exemple un sable fin paraît uniforme aux rayonnements à grandes longueurs d'onde, mais rugueux aux longueurs d'onde visibles.

3-2-5: La signature spectrale

La signature spectrale est le signal capté, réfléchi ou émis par une surface géographique. Le signal transporte avec lui une indication sur la nature de l'objet. Dans la partie **visible**, **proche infrarouge** et **moyen infrarouge** du spectre, de 0.3 à 3 μm , la signature spectrale correspond à la **réflectance** qui est le rapport entre l'énergie reçue par la surface et l'énergie réfléchie par cette surface. La réflectance s'exprime en pourcentage (Caloz, 1990).

On peut en déduire l'énergie absorbée et/ou transmise par la surface, sachant que leur somme est égale à l'énergie incidente. Il y a donc une modification du rayonnement incident qui se caractérise par une soustraction qui se traduit par l'apparition d'une couleur.

La réflectance diffère de la **luminance** (grandeur physique exprimée en $\text{W}/\text{m}^2/\text{str}/\text{*m}$) qui correspond à ce que reçoit le capteur et qui intègre les divers effets atmosphériques. On peut, connaissant la valeur de l'éclairement solaire, transformer la luminance en **réflectance exo-atmosphérique** (rapport entre l'énergie qui provient de la surface et celle qui arrive du soleil à la surface de l'atmosphère). La réflectance de la cible peut ensuite être déduite de la réflectance exo-atmosphérique à l'aide de modèles de transfert radiatif.

Dans l'infrarouge thermique (entre 8 et 12 μm), la signature spectrale de l'objet correspond à la température de la surface de l'objet. Elle diffère de la température de radiance de l'objet perçue par le satellite qui est fonction à la fois de sa température de surface et de son émissivité.

Evaluer la température de surface d'un objet nécessite donc de connaître son émissivité et les effets de l'atmosphère. Le signal intègre :

- la partie directement émise par la surface, c'est la partie utile, atténuée au passage de l'atmosphère ;
- la partie émise par l'atmosphère vers le capteur ;
- la partie émise par l'atmosphère dans la direction de la surface, réfléchie par la surface et renvoyée vers le capteur après atténuation à travers l'atmosphère

3-2-6: Synthèse des couleurs

La synthèse additive (espace RGB) résulte de l'addition de couleurs primaires, qui correspondent chacune à la longueur d'onde d'un rayonnement monochromatique. On obtient ainsi des couleurs autres que les couleurs primaires (tableau 3).

Tableau n°3 : Codage de la couleur sur 8 bits.

Bleu	Vert	Rouge	Couleur obtenue
0 255 255 0 0 0	0 255 0 255 0 255	0 255 0 0 255 0 0 0	Noir Blanc Bleu Vert Rouge Jaune Cyan Magenta Bleu
0 255 255 0 255 0	0 255 255 0 255 0	0 255 255 0 255 0	Bleu foncé Jaune moyen Jaune foncé

0 : absence de couleur

255 : maximum d'intensité de couleur.

La synthèse soustractive (espace YMCK) est l'inverse de la synthèse additive. En soustrayant à la lumière blanche une couleur, on obtient une autre couleur qui est sa complémentaire. Ainsi, le blanc – bleu = jaune. Une couleur complémentaire absorbe sa couleur primaire (le jaune absorbe le bleu, le magenta absorbe le vert et le cyan absorbe le rouge). La définition d'une couleur complémentaire est la couleur correspondant à la «distance » séparant une couleur du blanc en synthèse additive. Du bleu au blanc, il y a le jaune car bleu + jaune = blanc. Ces couleurs complémentaires jouent le rôle de filtres. Ainsi, une lumière blanche filtrée avec un filtre jaune donne une couleur jaune, car le filtre a absorbé les rayons bleus de la lumière blanche et laisse passer les rayons rouges et verts qui, en s'additionnant, donnent le jaune.

Le mélange combine synthèse additive et synthèse soustractive. Lorsqu'un objet est éclairé par le soleil, une fraction est absorbée ou transmise par l'objet, une partie est réfléchie.

3-2-7 : Caractéristiques spectrales de la végétation

Les caractéristiques spectrales de la végétation dépendent principalement de la structure de la feuille. L'épiderme supérieur et inférieur des feuilles développe une fonction protectrice contre les rayonnements électromagnétiques, la région mésophylle étant la partie la plus importante. (Figure n° 21).

Signatures spectrales (Benzineh, 2003)

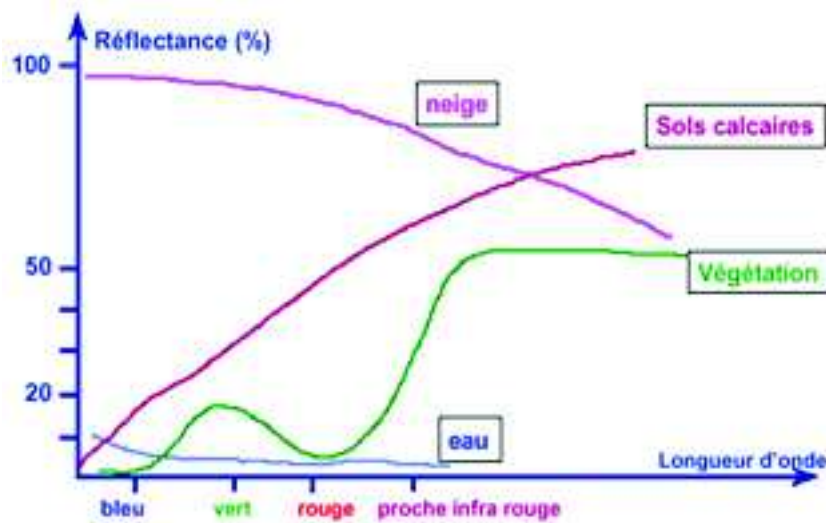


Figure n°21 : Caractéristiques spectrales de la végétation (Benzineh, 2002)

Le spectre des feuilles peut être divisé en plusieurs fourchettes bien distinctes:

- la zone qui se situe entre $0,4 \mu\text{m}$ et $0,7 \mu\text{m}$ (domaine visible) est caractérisée par une réflectance très basse, due à une intense absorption du rayonnement incident par les pigments de la plante. Tous les pigments absorbent à $0,43 - 0,45 \mu\text{m}$ (bleu), et la chlorophylle a une bande d'absorption supplémentaire à $0,65 \mu\text{m}$ (rouge). Il existe donc un faible pic de réflectance à environ $0,55 \mu\text{m}$ (vert).
- la région se situant entre $0,7 \mu\text{m}$ et $1,3 \mu\text{m}$ est caractérisée par une absorption très faible et une haute réflectance. Ce pic de forte réflectance est dû à la structure de la feuille, qui entraîne une réflexion multiple du rayonnement dans le proche infrarouge sur les parois des cellules.
- la région se situant entre $1,3 \mu\text{m}$ et $2,6 \mu\text{m}$ est caractérisée par des minima prononcés.

Plusieurs facteurs affectent les caractéristiques spectrales de la végétation. Ils comprennent le type de végétation, la phase de la croissance végétative et la santé de la plante.

3-2-8 : Indice de la Végétation de la différence Normalisée (NDVI)

Le NDVI est lié à l'activité du couvert végétal, les pigments foliaires absorbent fortement le rayonnement dans le rouge (R) alors que le parenchyme lacuneux réfléchit une grande partie du rayonnement proche infrarouge (PIR). Ainsi en phase de développement d'un couvert, la biomasse et les quantités de pigments augmentent, ce qui entraîne une hausse dans le proche infrarouge et une baisse dans le rouge, l'inverse se produit en fin de cycle végétatif démographique (Ceccato, 2002).

Sur la Radiométrie Avancée à très Haute Résolution (AVHRR), les canaux les plus utiles pour le suivi de la végétation sont le canal 1 (ch1) et le canal 2 (ch2). Le canal 1, avec une longueur d'onde de $0,58 \mu\text{m} - 0,68 \mu\text{m}$, se trouve dans la bande d'absorption de la chlorophylle, tandis que le canal 2, entre $0,725$ et $1,1 \mu\text{m}$, se trouve dans la bande de forte réflectance pour la végétation. Les caractéristiques des canaux correspondent donc de près aux propriétés caractéristiques des feuilles. C'est pourquoi les indices de la végétation

extraits des données des satellites météorologiques sont parmi les paramètres les plus importants en télédétection et sont à la base de nombreuses applications.

Le NDVI est calculé en utilisant le rapport de la valeur radiométrique obtenue respectivement à partir de la spectroscopie de réflexion de l'infrarouge proche (NIR) et du rouge visible (R) des données par satellites de faible résolution. Le NDVI est utilisé pour la détection de la végétation active.

Il est calculé de la manière suivante :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \text{ (Ceccato, 2002)}$$

Il est calculé tous les dix jours à partir d'une série de valeurs journalières de l'indice avec une limite de résolution de 7,6 kilomètres au niveau mondial et d'un kilomètre pour certains sous régions ou pays.

3-2-9 : Facteurs pouvant influencer l'indice de la végétation

Le NDVI varie en fonction de nombreux facteurs dont il est parfois difficile d'estimer l'importance relative. Parmi ceux-ci, on retiendra les facteurs liés à la plante, à son environnement (sols, pente), aux conditions de prise de vue, au vieillissement des capteurs et à l'atmosphère (Bonn, 1996 et 2001).

La valeur du NDVI peut varier en fonction de l'état sanitaire de la plante, de son état physiologique et phénologique et de ses caractéristiques génétiques.

Le NDVI est sensible à de nombreux facteurs liés à l'environnement immédiat de la cible. Le sol sous-jacent semble être le facteur le plus important. En effet, le signal enregistré par le satellite intégrera les réflectances de la végétation et du sol sous-jacent. Lorsque la couverture végétale est faible, situation fréquente dans le domaine saharien, le signal reçu par le satellite proviendra principalement du sol. La réflectance des sols varie en fonction de leur couleur, de leur degré d'humidité et de leur rugosité.

3-3 : Suivi de l'évolution saisonnière de la couverture végétale.

Une communauté végétale est un ensemble de végétaux supérieurs structurés et généralement homogène, occupant une étendue de terrain, de superficie variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques.

Les objets étudiés ont des dimensions plus petites que les zones biogéographiques et les formations végétales. Les systèmes de télédétection utilisés devront posséder une meilleure résolution géométrique. D'autre part, les communautés végétales appartiennent très souvent à une même formation végétale, et présentent donc des physionomies très voisines.

Il est alors nécessaire pour les distinguer de disposer d'informations dans des bandes spectrales plus fines et de données acquises à des dates différentes.

Enfin, l'utilisation de la télédétection dans l'étude des communautés végétales ne peut être vraiment efficace que si la plupart, à défaut de la totalité, des espèces présentes dans la communauté, et qui servent à sa description et à sa classification phytosociologiques,

contribuent par leur comportement spectral, à la caractérisation radiométrique de la communauté. Cette condition est réalisée quand il s'agit de communauté à stratification verticale simple et dont le recouvrement par rapport au sol est important. C'est particulièrement le cas des formations herbacées ou buissonnantes : landes, steppes, savanes herbacées denses, pelouses, parcours, prairies semi-naturelles.... (Dizier, 1985).

3-3-1 : Matériel

3-3-1-1 : Images satellitaires utilisées

3-3-1-1-1 : Images SPOT végétation

Les images satellitaires utilisées pour la réalisation de cette étude, sont de types SPOT 4-VEGETATION et carte NDVI décadaire, fournies par la FAO. (figures 22 et 23).

Les images Spot végétation sont des images fournies par le capteur VEGETATION embarqué sur le satellite SPOT 4 qui est un capteur de type " Grand Champ", souvent appelé aussi "Basse Résolution". Il est opérationnel depuis avril 1998.

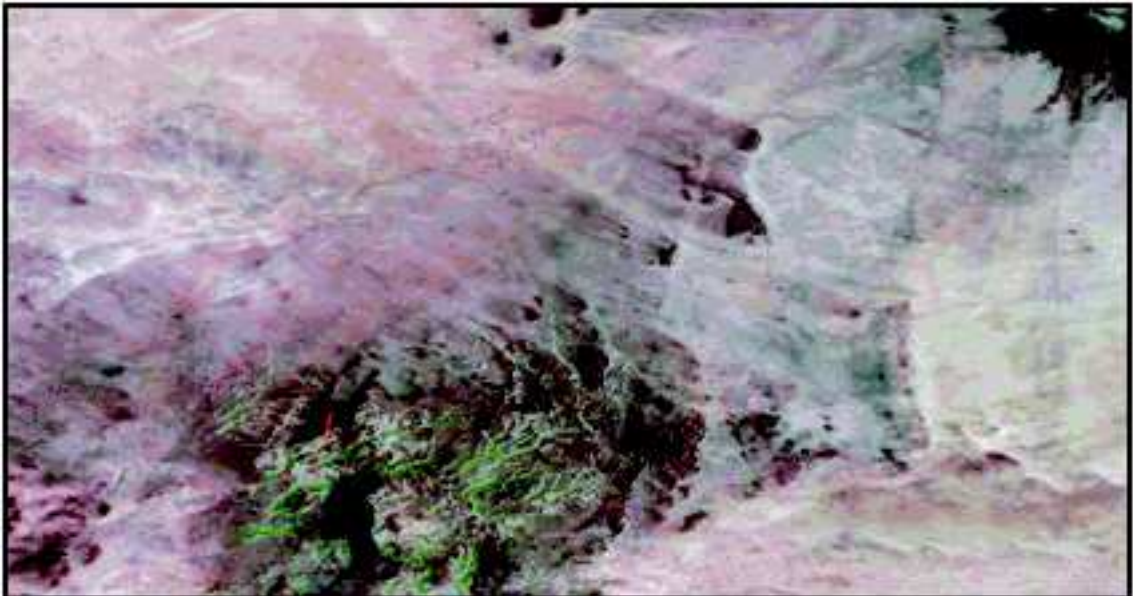


Figure N°22 : Image SPOT4 Végétation (RGB)

Carte NDVI SPOT Végétation

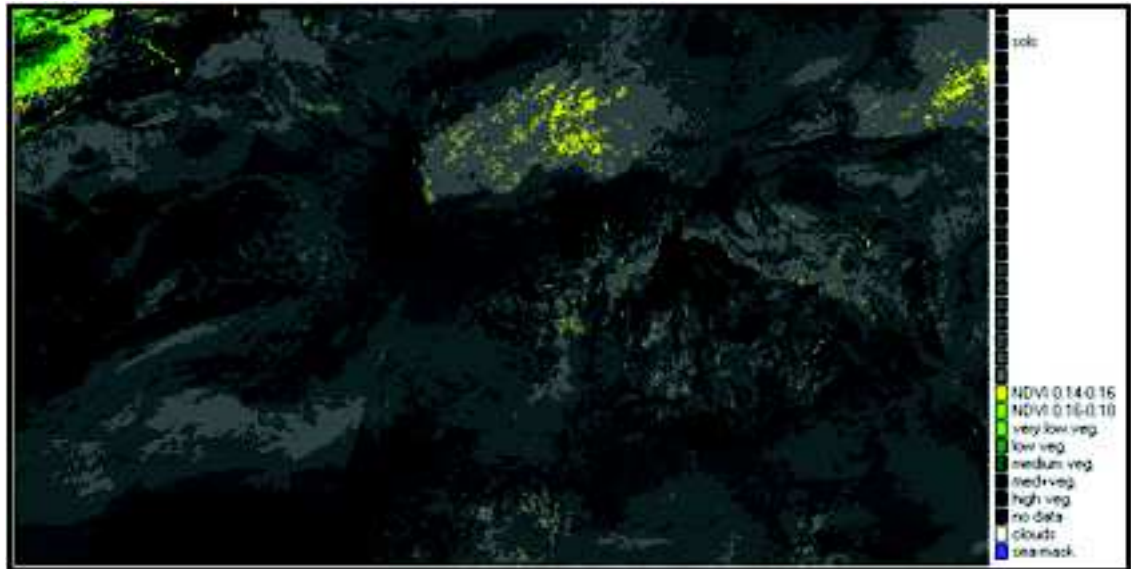


Figure N°23 : Carte NDVI décadaire

Une caractéristique très intéressante de ce type de système est une haute résolution temporelle (ou répétitivité) qui permet de suivre l'évolution saisonnière de la végétation, et dans un deuxième temps d'estimer la production végétale.

Avec un champ de 2250 km, il permet d'observer de vastes zones de l'ordre d'un pays entier, voire d'un continent, la résolution spatiale (1.1 km au Nadir) étant limitée mais malgré tout compatible avec les grands écosystèmes végétaux.

SPOT VEGETATION, contrairement à d'autres systèmes comme NOAA/ AVHRR et SEAWIFS, a été conçu non pas pour l'observation de l'atmosphère et des océans mais bien pour le suivi de la végétation. Avec 4 bandes spectrales, dont une dans le rouge et une dans le proche infrarouge, spécialement pour correspondre à la réponse spectrale de la photosynthèse végétale, permet de fabriquer des produits d'excellente qualité basés sur les indices de végétation, conception modernes basée sur la technologie "push-broom" de SPOT VEGETATION (Cervelle, 1989).

3-3-1-1-2 : Image Alsat1

Les images Alsat1 sont des images fournies par le capteur de Satellite algérien Alsat1 d'un capteur de type " haute résolution". La taille de pixel de 32 m. Il est opérationnel depuis décembre 2002 (figure 24).



Figure N° 24 : Oued Amded (Tamanrasset)

3-3-2 : Méthode d'analyse et d'interprétation des images satellitaires

Les images satellite de fait de leur nature numérique, peuvent être analysées par des traitements mathématiques variés. Ces traitements vont porter, pour chaque "pixel", sur les valeurs radio métriques des différents canaux, mais aussi analyser les valeurs d'un pixel par rapport à ceux qui l'entourent. Par exemple une image SPOT (60x60 km) se compose de 9 millions de pixels de 20 x 20 m pour lesquels trois données sont enregistrées. Aussi le traitement de cette " banque de données" relève-t-il de l'informatique et de calculs spécialisés (Dizier, 1985). Les techniques d'interprétation des images satellite sont :

- Interprétation analogique d'une simple composition colorée (se rapprochant d'une photo infrarouge couleur) ;
- Interprétation assistée par ordinateur, combinant traitements et interprétations de façon itérative ;
- interprétation cartographique, répartition spatiale des objets, traitements informatiques ajoutant l'analyse statistique immédiate (quantification des objets), qui devient alors des données de l'interprétation.

La densité et l'état de la végétation peuvent être appréhendés au moyen des indices de végétation d'origine satellitaire, tels que le NDVI. Universellement appliqués, ils permettent d'évaluer entre autres les variations de la biomasse au cours du temps.

Afin d'étudier l'évolution saisonnière de la végétation dans les différents biotopes du criquet pèlerin, nous avons utilisé la méthode d'interprétation cartographique basée sur des analyses stratégiques des Images Spot végétation de l'année 2003 (Maximum, minimum et moyenne), initiée par Ceccato en 2002. Les couleurs visibles sur les cartes de végétation ont été attribuées en fonction des valeurs de NDVI allant de -1.00 à 1.00 .

Les valeurs de l'indice ont été traduites en couleurs variant du **Noir** (< 0.14) , qui correspond aux zones sans végétation tels que les ergs, sol et regs, au **vert sombre** (>0.4) pour une végétation très dense et à forte activité chlorophyllienne. Les différentes teintes de **jaune et de vert clair** (0.14 à 0.16) traduisent les valeurs intermédiaires de l'indice.

3-3-3 : Résultats

3-3-3-1 : Interprétation des images satellitaire d'indice de végétation

3-3-3-1-1 : Période printanière

La carte NDVI de la période printanière (Février-Mai) montre la forte présence de la végétation dans le Sahara central (figure 25), notamment aux niveaux du Plateau du Tademait dans la région de In Salah, les zones de mises en valeurs dans la région d'Adrar (Annexe 1, photographie 4) Oued Arak au nord du Hoggar et le nord du Tassili N'Ajjer.

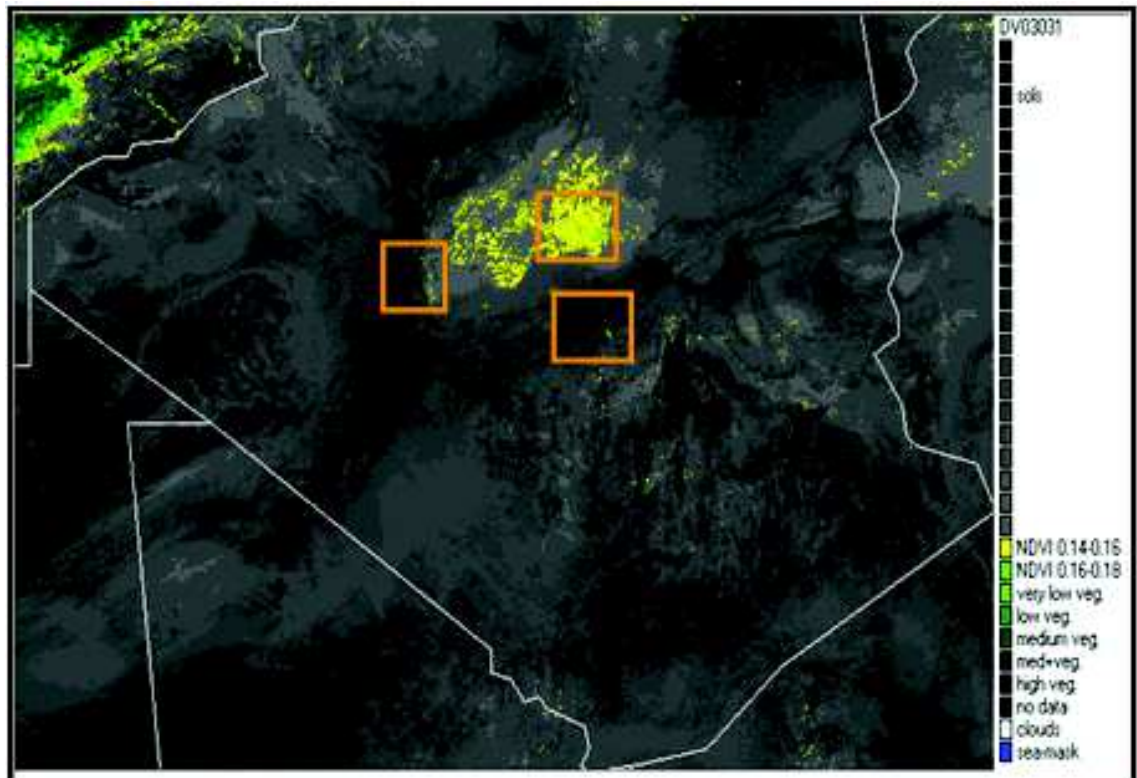


Figure N°25 : Image synthétique de la période printanière

3-3-3-1-2 : Période estivale

L'image satellitaire résultat d'analyse d'une série d'images concernant la période estivale (Juin-Septembre) montre la présence de la végétation très active dans les zones de l'extrême sud du Hoggar (figure 26).

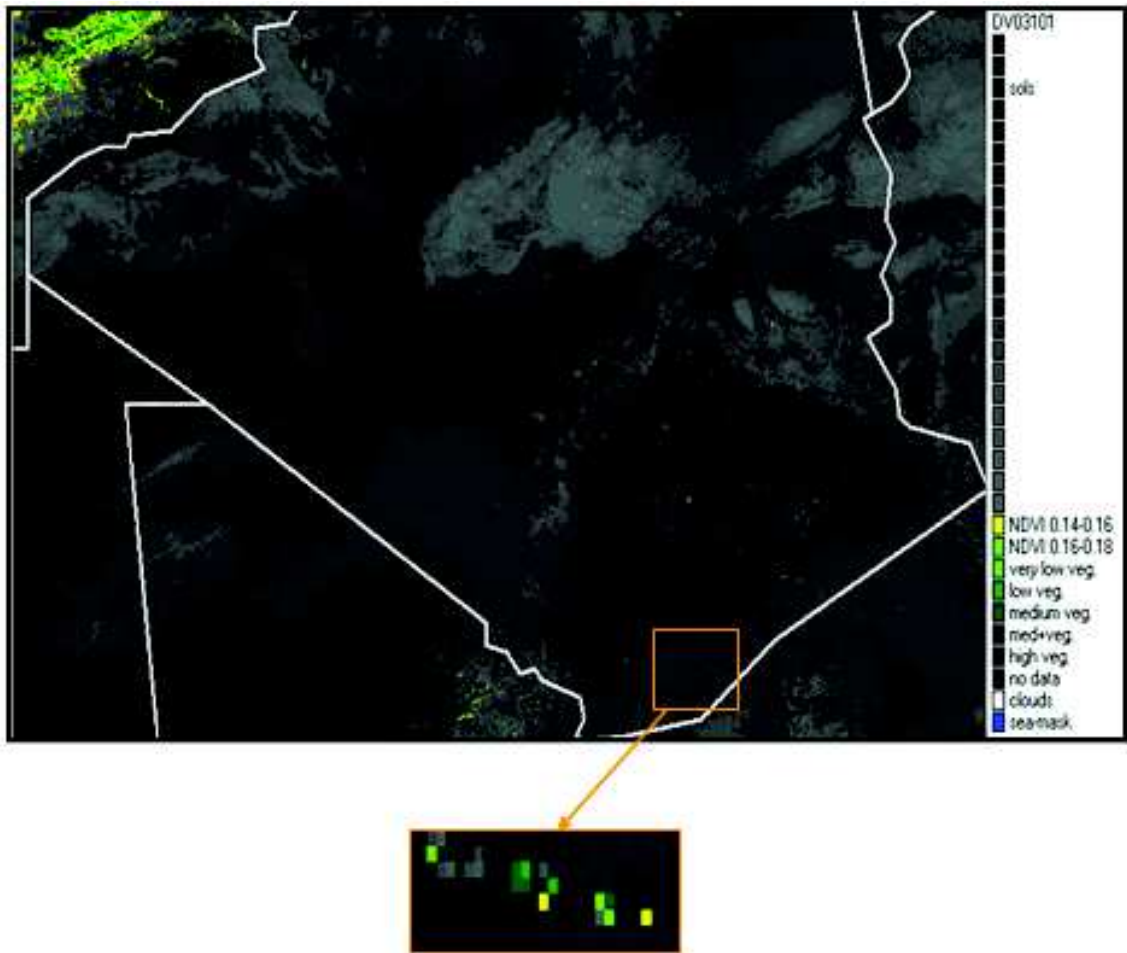


Figure N°26 : Image synthétique de la période estivale

3-3-3-1-3 : Période automno-hivernale

L'image satellitale résultat d'analyse d'une série d'images concernant la période automno-hivernale (Octobre-Janvier), montre clairement la faible présence de la végétation dans toutes les zones sahariennes. Seulement quelques tâches persistent encore au niveau des dépressions situées à l'ouest et au sud-est du Hoggar (figure 27).

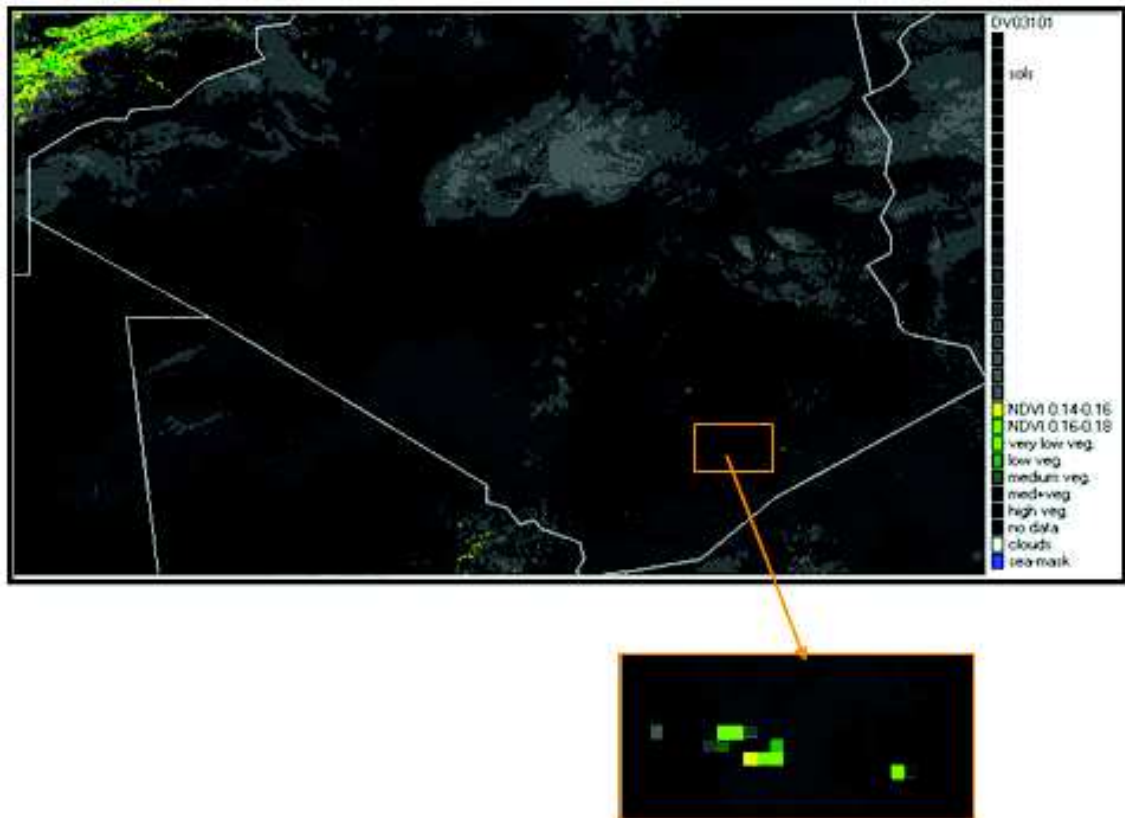


Figure N°27 : Image synthétique de la période automno-hivernale

3-3-4 : Discussion et conclusion

L'installation de la végétation au niveau des zones désertiques est liée à la disponibilité des pluies (annexe 2, 3,4) et aux capacités de rétention des sols caractérisant ces régions.

En période printanière, la végétation se dégrade dans l'extrême sud. En revanche, avec les pluies méditerranéennes et atlantiques le tapis végétal reprend en zone septentrionale.

En période estivale l'activité végétale se dégrade dans l'ensemble des zones septentrionales. On est en milieu de la saison sèche. Par contre, la végétation reprend au niveau des zones méridionales à la faveur des pluies générées par la remontée du Front Intertropical (FIT), notamment dans les régions de l'extrême sud, celles situées au sud du 22^{ème} parallèle Nord et la bande frontalière Algéro-nigéro-maliéenne.

En période automno-hivernale où les pluies sont absentes, la végétation persiste à la faveur de la réserve hydrique issue de la saison des pluies durant la période estivale et les basses températures. En effet, selon Sitouh 1976, dans les Maâders (zones d'accumulation des eaux) l'humidité du sol persiste jusqu'à cinq à six mois après les dernières pluies.

3-4 : Evolution de l'indice de la végétation

3-4-1: Méthode

L'étude de l'évolution saisonnière des valeurs décadaires de l'indice de la végétation de la différence normalisée (NDVI) dans les zones potentielles de reproduction du criquet pèlerin, a été réalisée à partir d'une série d'images Spot végétation et Alsat1 pour toutes les périodes de l'année 2003.

Les valeurs de l'indice de la végétation de la différence normalisée ont été calculées en fonction de plusieurs paramètres :

- les espèces végétales constituant le tapis végétal ;
- l'espèce végétale dominante ;
- la couverture de la végétation ;
- le stade de croissance de la végétation.

La méthode d'interprétation cartographique basée sur des analyses stratégiques des Images satellitales (maximum, minimum et moyenne). Le NDVI est calculé en utilisant le rapport de la valeur radiométrique obtenue respectivement à partir de la spectroscopie de réflexion de l'infrarouge proche (NIR) et du rouge visible (R). Ses valeurs varient entre -1 et 1. Il est calculé tous les dix jours à partir d'une série de valeurs journalières de l'indice.

3-4-2 : Résultats

Les valeurs du NDVI ont été calculées pour plusieurs structures végétales situées dans les wilayas de Tamanrasset et Illizi. Deux régions qui ont enregistré des pluies importantes durant l'année 2003 (figure 28).

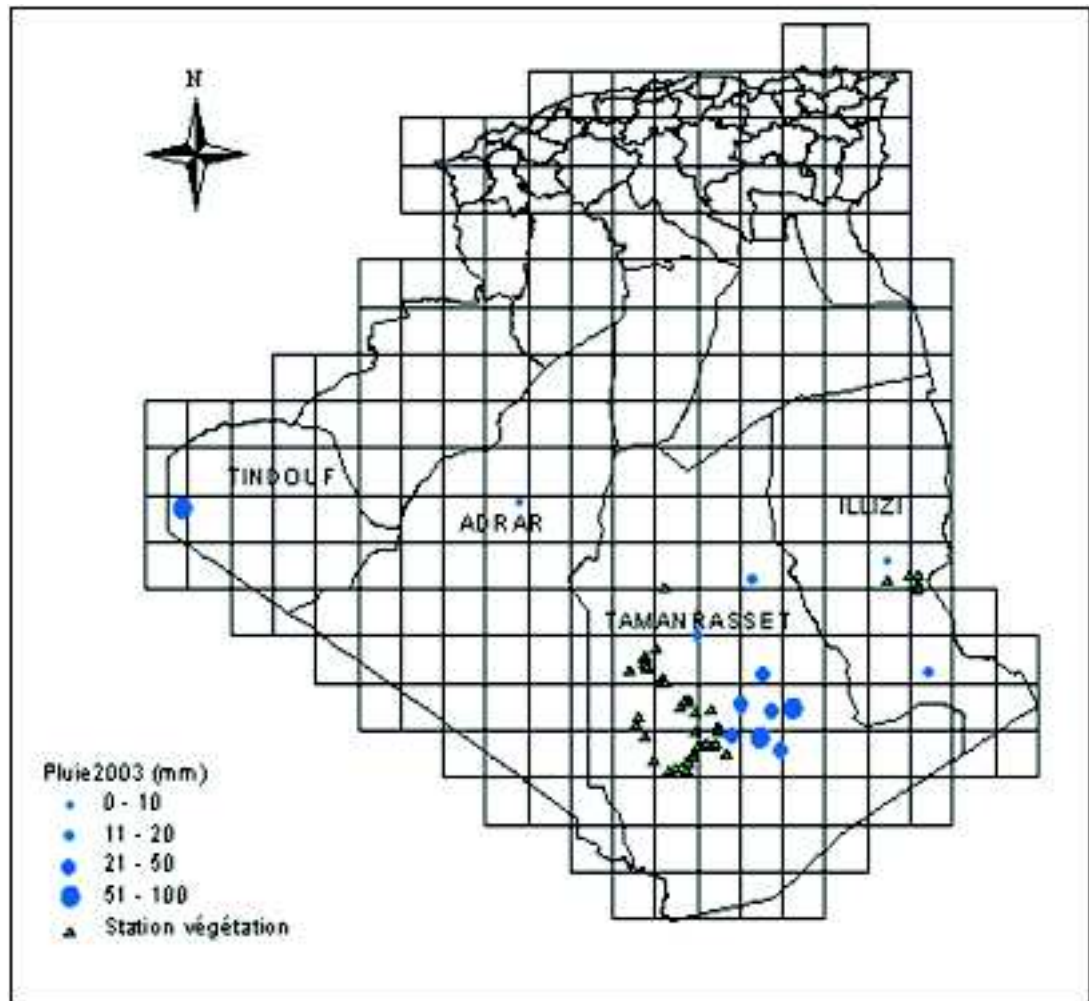


Figure N° 28 : Stations végétations et pluies enregistrées dans la zone d'étude durant l'année 2003

3-4-2-1 : Variation des valeurs NDVI d'une structure végétale dominée par l'espèce végétale *Schouwia thebaica* .

La figure 29 montre que l'indice de la végétation de la différence normalisée calculé à partir d'un tapis végétal dominé par l'espèce végétale *Schouwia thebaica* (SC-A), prend des valeurs caractéristiques d'une activité chlorophyllienne moyenne avoisinant 0,15 quelque soit la période de l'année. Un pic de 0,35 a été observé au cours de la première décade du mois de mars.

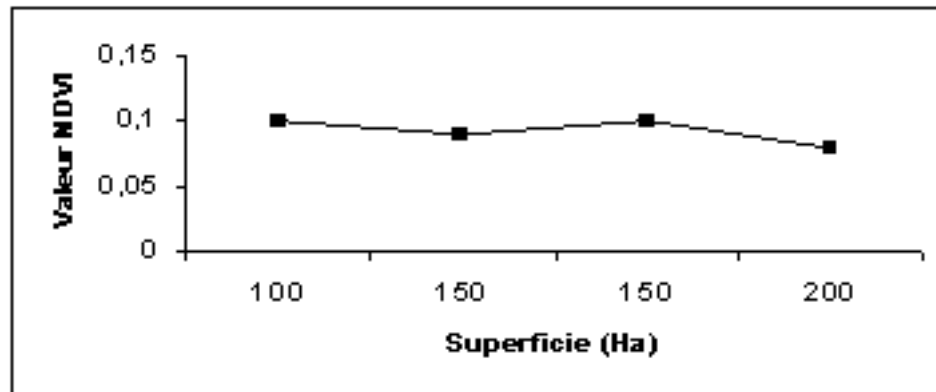


Figure N°31 : les valeurs du NDVI de la végétation en jeunes pousses

3-4-2-4 : Variation du NDVI d'une structure végétale en voie de dessèchement

L'analyse de la figure 32 montre que les valeurs du NDVI des formations végétales en voie de dessèchement ne dépassent pas 0,1 quelque soit la superficie.

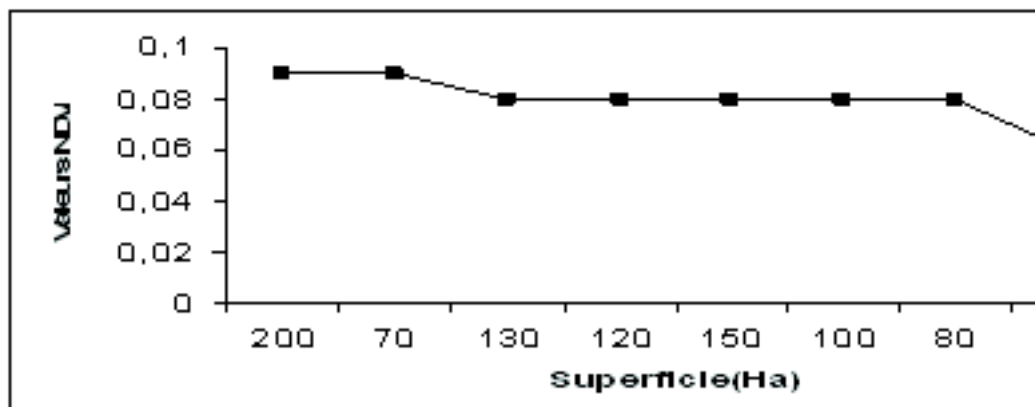


Figure N°32 : les valeurs du NDVI pour la végétation en voie de dessèchement

3-4-3 : Discussion et conclusion

Nos résultats décrivent clairement la relation entre l'indice de la végétation de la différence normalisée et la nature de la végétation détectée. En effet, les valeurs de l'indice de la végétation sont corrélées au niveau de la biomasse active des couverts végétaux, c'est-à-dire à l'intensité de l'activité photosynthétique et la densité du couvert végétal. Les valeurs les plus élevées du NDVI (0,16 à 0,3) ont été enregistrées pour les formations végétales qui possèdent un système foliaire développé comme l'espèce *Schouwia thebaica* et *Colocynthis vulgaris* (Annexe 1, photographies 1 et 2).

En revanche, les espèces végétales qui possèdent un système foliaire réduit : *Zygophyllum album* et *Zilla spinosa* (Annexe 1, photographie 3 et 5) comme les espèces à feuilles réduites en épines, en voie de dessèchement ou en jeunes pousses (activité chlorophyllienne faible), les valeurs du NDVI ne dépassent guère le 0,01 alors que les couvertures au sol dépassent largement la résolution de l'image Spot végétation.

Les mêmes résultats ont été observés par Mougenot et Bégrié (2000), Ceccato (2002), en étudiant l'évolution de la végétation dans les zones arides et semi - arides. Ghaout

en 1990 a noté que d'une façon générale, l'indice de la végétation évolue dans le même sens que la biomasse. Partant d'une valeur proche de zéro en début de saison, il s'élève jusqu'à atteindre 0,5 en pleine saison de pluies, suivi d'un fléchissement des valeurs du NDVI provoqué par la disparition de la végétation.

Les faibles valeurs de l'NDVI sont dûes essentiellement au fait que les espèces végétales présentes sur place n'ont pas le même comportement spectral. Dizier en 1985, a montré que l'utilisation de la télédétection pour le suivi de la végétation ne peut être vraiment efficace que si la plupart, à défaut de la totalité, des espèces présentes dans la communauté, et qui servent à sa description et à sa classification phytosociologiques, contribuent par leur comportement spectral, à la caractérisation radiométrique de la communauté.

L'utilisation des images Spot-Végétation pour le suivi de l'évolution saisonnière de la couverture végétale dans les zones désertiques est un outil incontournable dans la lutte préventive contre le criquet pèlerin. Cette méthode a déjà permis l'identification de taches de végétation dans plusieurs pays concernés par les acridiens. La vérification de ces informations sur le terrain a révélé la présence du criquet pèlerin qui a permis aux équipes de lutte de traiter les foyers primaires infestés.

Kielkema et al 1986, cités par Wilmet, 1996 mettent au point un facteur d'activité de reproduction potentielle du criquet basé sur le NDVI et qui pondère de manière progressive le nombre de pixels dont l'indice normalisé est compris entre 2 bornes. Ces derniers sont établis à l'aide d'observations de terrain (sites-tests dans l'Air, l'Adrar des Iforas et le Tamesna). Cet indice a été corrélé favorablement avec, d'une part, les précipitations de l'hivernage 1980 et d'autre part, avec les populations de criquets pour cette même période et ces mêmes sites-tests. Ainsi se confirment les observations faites par Castel, 1982 et Wilmet, 1996 sur la croissance des populations de criquets pèlerins en 1980 pour l'Afrique de l'Ouest.

Cette méthode nous a permis d'une part, de superposer la végétation visible sur les images satellitales sur les différentes couches constituant le biotope du criquet pèlerin et d'autre part, de comparer entre les stations végétations repérées par les équipes de prospection (vérités de terrain) avec celles des images.

3-5 : Présentation de quelques espèces végétales influant les valeurs du NDVI (Annexe 1)

Schouwia thebaica (**Photographie 1**)

- **Description** : Herbe annuelle, ramifiée, vert-bleuâtre, à larges feuilles un peu charnues, les supérieures embrassant les tiges par leur base ; fleurs violettes grandes, fruits aplatis, entourés d'une aile large (Ozenda, 1983).

Répartition : Très abondante au Sahara central où elle constitue une des espèces dominantes dans la région du Hoggar.

Colocynthis vulgaris (**Photographie 2**)

- **Description** : Plante à tiges longuement rampantes, à feuilles grandes, découpées, hérissées de poils comme les tiges et les pétioles, et portant des vrilles à leur

aisselle ; fleurs à sexes séparés, les mâles à étamines soudées deux par deux ; fruits à pulpe charnue ; plante vivace. (Ozenda, 1983).

- **Répartition** : Espèce commune dans tout le Sahara.

Zygophyllum album (**Photographie 3**)

- **Description** : Buissons ramifiés, à feuilles opposées pourvues d'une paire folioles étroites et cylindriques. Pédoncule fructifère bien plus court que le fruit, la partie libre des carpelles sensiblement aussi longue que la partie soudée (Ozenda, 1983).
- **Répartition** : Espèce commune dans le Sahara central et méridional.

Zilla spinosa (Photographie 5)

- **Description** : Plante épineuse, très rameuses, sans poils et glauques, à feuilles charnues localisées sur les jeunes rameaux, fleurs grandes à pétioles courts (Ozenda, 1983).
- **Répartition** : Espèce commune dans le Sahara central et méridional.

CHAPITRE IV : Intérêt de la végétation détectée pour le criquet pèlerin

4-1 : Etude du régime alimentaire

4-1-1 : Matériel

Afin de vérifier l'intérêt du tapis végétal détecté par les Images Spot Végétation pour le criquet pèlerin, nous avons étudié son régime alimentaire dans deux stations situées à Tamanrasset.

Bien que le choix alimentaire dépende des tolérances et des exigences de chaque espèce, les acridiens présentent en majorité des grandes tolérances alimentaires et de ce fait, ne sont pas limités dans leur quête de nourriture (Duranton et al, 1982).

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).

4-1-1-1: Les stations d'étude

Le régime alimentaire a été étudié dans deux stations situées dans la région du Hoggar (Figure 33), proches l'une de l'autre et qui diffèrent par la dominance des différentes espèces végétales qui y poussent. Le choix des stations d'études a été dicté par la présence en même temps de la végétation et du Criquet.



Figure N° 33 : Localisation des deux stations d'étude (1: Oued Amded et 2 : Arak)

Zones de reproduction potentielles du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskal. 1775 dans le sud algérien

L'échantillonnage de la végétation et du criquet a été effectué à partir du mois de février, période de forte activité végétale et acridienne.

La première station située en plein lit de Oued Amded, renferme un tapis végétal constitué de plusieurs espèces végétales à dominance *Schouwia* (Tableau 4). Le sol est de texture sablo-limoneux, peu profond.

Tableau n°4 : Les principales espèces végétales récoltées dans Oued Amded

Familles	Genres	Espèces
Crucifères Amaryllidacées	<i>Schouwia Morettia Farsetia Panicum</i>	<i>Schouwia thebaica Morettia</i>
Zygophyllacées	<i>Fagonia Colocynthis Aristida Astragalus Psoralea</i>	<i>Acacia Chrozophora</i>
Cucurbitacées Graminées		<i>hamiltonii Panicum</i>
Légumineuses Euphorbiacées		<i>turgidum Fagonia</i>
Boracinacées		<i>glutinos Colocynthis</i>
		<i>vulgaris Aristida</i>
		<i>pungens Astragalus</i>
		<i>vogelii Psoralea plicata Acacia</i>
		<i>raddiana Chrozophora</i>
		<i>brochiana Heliotropium</i>
		<i>undulatum</i>

La deuxième station située au niveau de Oued Arak, renferme plusieurs espèces végétales à même niveau de dominance (Tableau 5). Le sol est de texture sablo-limoneux, peu profond.

Tableau 5 : Les principales espèces végétales récoltées dans Oued Arak

Familles	Genres	Espèces
Crucifères Légumineuses Amaranthacées	<i>Schouwia Farsetia Morettia Psoralea</i>	<i>Schouwia thebaica Farsetia</i>
Composées Papilionacées Zygophyllacées	<i>Cotula Fagonia Colocynthis</i>	<i>hamiltonii Morettia</i>
	<i>Aristida Colocynthis</i>	<i>canescens Psoralea</i>
		<i>plicata Panicum</i>
		<i>turgidum Cotula</i>
		<i>cinerea Astragalus</i>
		<i>vogelii Fagonia</i>
		<i>glutinos Aristida</i>
		<i>pungens Colocynthis vulgaris</i>

4-1-2 : 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, Chaouch, 1994, Kara, 1997, Doumandji-Mitiche et al 1996a, Benfekih, 1993 et Chara, 1984, 1987).

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 ...).

4-1-2-1 : 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.

4-1-2-2 : Préparation des fèces

Les criquets capturés dans la nature ont été placés individuellement dans des boites 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 égesta 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.

4-1-3 : Résultats

L'analyse des contenus digestifs des 92 individus des deux stations dont 67 femelles et 25 mâles nous a permis l'identification de plusieurs espèces végétales contenues dans les fèces. Les espèces végétales consommées par les différents individus sont portées dans les tableaux 6 et 7 et les figures 33 et 34.

Tableau N° 6: Fréquence relatives des espèces consommées à Oued Arak

Zones de reproduction potentielles du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskal. 1775 dans le sud algérien

Espèces Végétales	Fréquence %	Fréquence %
	Femelles	Mâles
<i>Schouwia thebaica</i>	63	63,5
<i>Astragalus vogelii</i>	22,45	9,7
<i>Psoralea plicata</i>	2,42	8,33
<i>Frasetia hamiltonii</i>	6,45	12,9
<i>Cotula cinerea</i>	-	5,2
<i>Colocynthis vulgaris</i>	3,5	-

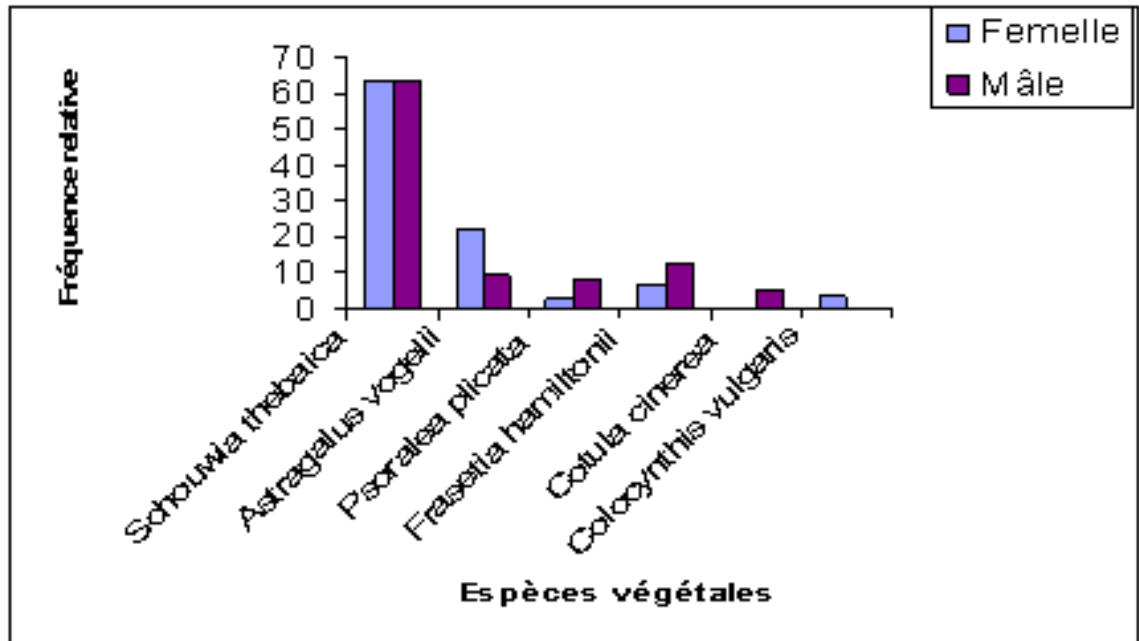


Figure N° 34 : Espèces végétales consommées au niveau de Oued Arak

Tableau N° 7 : Fréquences relatives des espèces consommées à Oued Amded

Espèces végétales	Fréquence %	Fréquence %
	Femelles	Mâles
<i>Schouwia thebaica</i>	45	44
<i>Chrozophora brocchiana</i>	30	-
<i>Psoralea plicata</i>	2,8	-
<i>Heliotropium undulatum</i>	10,8	20

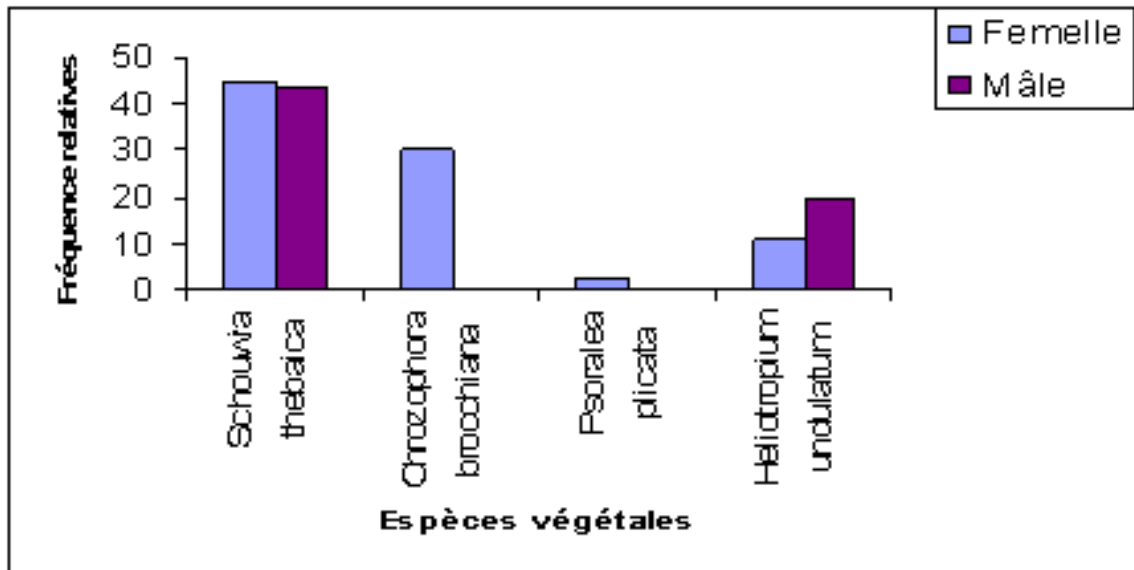


Figure N° 35 :Espèces végétales consommées au niveau de Oued Amded

Ces graphes montrent que 4 espèces végétales à Oued Amded et 6 espèces végétales à Oued Arak ont été observées dans le dégesta des individus étudiés.

Nous avons observé qu'au niveau d' Oued Amded les femelles ont consommé 4 espèces végétales et les mâles n'ont consommé que 2 sur les 12 existantes. Dans la station d'Oued Arak, les femelles et les mâles ont consommé 5 espèces végétales sur les 10 existantes.

L'espèce végétale la plus consommée aussi bien par les femelles que par les mâles dans les deux stations est *Schouwia thebaica*. Cette espèce a constitué 44% - 45% du régime alimentaire des individus prélevés dans la station de Oued Amded et 63% - 63,5% dans la station de Oued Arak.

4-1-4 Discussion

Le régime alimentaire des populations de deux stations 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 de la sauterelle pèlerin *Schistocerca gregaria* à Adrar et Tamanrasset. En effet, ils ont noté qu'à Tamanrasset les femelles ont consommé 8 espèces végétales et les mâles n'ont consommé que 6 espèces végétales.

Cet état de fait peut être expliqué par le fait que les solitaires ne se déplacent pas le jour, par conséquent leur régime alimentaire n'est pas trop varié.

Plusieurs études ont montré que le criquet pèlerin dans son milieu naturel à une préférence alimentaire très variée. Les espèces végétales les plus consommées sont de genres *Schouwia*, *Boerhavia*, *Tribulus*, *Fagonia* et *Panicum* Ghaout, 1990, (Darling, 1934, Zolotarevsky et Murat, 1938) cités par Popov, 1997, Kara, 1997 et Khider 1999).

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).

4-2 : Etat phasaire des individus prélevés des deux stations

Les individus capturés d'une façon aléatoire des deux stations, ont subi des mesures morphométriques, afin de déterminer leur l'état phasaire. Nous avons mesuré pour les femelles comme pour les mâles la largeur de la capsule céphalique (la tête), la longueur de l'élytre et la longueur du fémur et les rapports fémur/tête, élytre/fémur en utilisant l'échelle donnée par Dirsh (1953) in Ghaout, 1990.

4-2-1 Résultats

Les résultats concernant les indices morphométriques de *S. gregaria* dans les stations d'Oued Amded et Oued Arak sont portés sur le tableau n° 8. Les rapports F/C pour les mâles nous obtenons 3,75 et 3,74 et pour les femelles 3,85 et 3,84 respectivement pour la Station de Oued Amded et Oued Arak.

Pour les rapports E/F nous obtenons 2,12 et 2,01 pour les mâles et 2,14 et 2,09 pour les femelles respectivement pour la Station de Oued Amded et Oued Arak.

Station Oued Amded						Station Oued Arak					
Mâles			Femelles			Mâles			Femelles		
NB	F/C	E/F	NB	F/C	E/F	NB	F/C	E/F	NB	F/C	E/F
15	3.75	2.12	45	3.85	2.14	10	3.74	2.01	22	3.84	2.09

Tableau N°8 : Mesures morphométriques des individus de *S. gregaria* prélevés dans les deux stations

F : longueur du fémur ;

C : largeur de la tête ;

E : longueur de l'élytre.

4-2-2 : Discussion

Les rapports morphométriques, notamment E/F, placent les populations de la station de Oued Amded parmi les transiens et les populations de la station de Oued Arak parmi les solitaires en comparant nos résultats avec ceux de la table de référence donnée Drish (Tableau 9). Les mêmes résultats ont été obtenus par Doumandji-Mitiche et al 1996b en étudiant une population acridienne à Tamanrasset.

Indice	solitaires		transiens		grégaire	
	mâles	femelles	mâles	femelles	mâles	femelles
E/F	1.99 – 2.07	2.02-2.13	2.08-2.15	2.10-2.15	2.14-2.28	2.16-2.33
F/C	3.80 - 3.95	3.87-4.04	3.62-3.79	3.71-3.86	3.03-3.61	3.05-3.70

Tableau N° 9 : Indices morphométriques de *S. gregaria* (DIRSH, 1953 cité par Ghaout, 1990)

F : longueur du fémur ;

C : largeur de la tête ;

E : longueur de l'élytre.

CONCLUSION GENERALE

La réalisation d'un système d'information géographique, intégrant toutes les composantes statiques d'un paysage désertique constitue un outil performant pour localiser l'évolution du tapis végétal, de cartographier le paysage des biotopes de reproduction du Criquet pèlerin, l'intégration des relevés de la végétation et la comparaison des données du terrain (réalité du terrain) à d'autres données fournies par les images SPOT VEGETATION et Alsat1.

Cette méthode a permis la représentation sur une carte géoréférencée, les caractéristiques géomorphologiques des différents biotopes du criquet pèlerin et l'intégration sous forme de coordonnées géographiques la fréquence de la présence acridienne en phase de rémission acridienne d'une période s'étalant sur 13 années de prospection.

Le paysage géomorphologique des biotopes est constitué essentiellement de formations dépourvues de sol fertile. La nature de la roche dominante, est représentée par le grès, le granite et les regs formant de grandes étendues. Les seuls endroits où la végétation peut se développer sont les lits des Oueds et les zones d'accumulations et d'épandages des rares eaux de pluie.

Les biotopes colonisables par le criquet pèlerin au sud algérien, se trouvent à l'intérieur d'un territoire correspond approximativement à une bande latitudinale comprise entre le 19^{ième} et le 30^{ième} parallèle. Cette bande renferme surtout les lits d'oueds, les zones d'épandage des eaux de pluies, les inter-dunes et les cuvettes où s'accumulent les eaux de ruissellement. Cette topographie permet ainsi l'installation d'un couvert végétal abondant, diversifié et d'une pérennité pouvant assurer au criquet une activité biologique durant les périodes de reproduction.

Les biotopes où les fréquences des signalisations ont été les plus élevées, se situent respectivement du Sud au Nord dans le Tamesna algéro-nigero-malien, sud-ouest du Hoggar, Tassili N'Najer, au nord-est du plateau de Tadmaït (Sahara central) et les périmètres de mise en valeur.

La télédétection de la végétation par l'utilisation des images satellitaire a montré, que l'Indice de Végétation Différence Normalisée (NDVI) est une méthode efficace pour l'estimation des caractéristiques de la croissance de la végétation.

Les résultats obtenus décrivent clairement la relation entre l'indice de la végétation de la différence normalisée et la nature de la végétation détectée. En effet, les valeurs de l'indice de la végétation sont corrélées au niveau de biomasse active des couverts végétaux.

Les valeurs les plus élevées de l'NDVI (0.16 à 0.3) ont été enregistrées pour les formations végétales qui possèdent un système foliaire développé comme l'espèce *Schouwia thebaica*.

En revanche, les espèces végétales qui possèdent un système foliaire réduit comme les espèces à feuilles réduites en épines, en voie de dessèchement ou en jeunes pousses (activité chlorophyllienne faible), les valeurs du NDVI ne dépassent guère le 0.01 malgré les couvertures au sol dépassant largement la résolution de l'image.

L'utilisation des images Spot-Végétation pour le suivi de l'évolution saisonnière de la couverture végétale dans les zones désertiques est un outil incontournable dans la lutte préventive contre le criquet pèlerin. Cette méthode a déjà permis l'identification de taches de végétation dans plusieurs pays concernés par les acridiens. La vérification de ces informations sur le terrain a révélé la présence du criquet pèlerin qui a permis aux équipes de lutte de traiter les foyers primaires infestés.

A grande échelle, la télédétection de la végétation par l'utilisation des images de basse résolution peut être imprécise. Certes, dans un milieu donné, certaines taches claires et visibles, détectées par les capteurs du satellite, peuvent être reliées à des sols caillouteux ou à des phénomènes d'érosion.

La résolution d'un Km² (taille d'un seul pixel), équivalant à 100 hectares et la surface minimum que peut détecter SPOT VEGETATION. Les surfaces inférieures à 100 hectares ne sont pas détectées. Cette limite ne permet pas l'étude de l'évolution du tapis végétal à partir des petites taches d'une part et son dessèchement sous forme des petits îlots d'autre part. Cet état de fait, a exigé l'utilisation des images de haute résolution cas de satellite algérien Alsat1. Ces images nous ont permis de localiser les traces de la végétation en voie de dessèchement.

L'installation de la végétation au niveau des zones désertiques est liée à la disponibilité des pluies et aux capacités de rétention des sols caractérisant ces régions. En période printanière, la végétation se développe en zones septentrionales à la faveur des pluies méditerranéennes et atlantiques. En période estivale la végétation reprend au niveau des zones méridionales à la faveur des pluies générées par la remontée du Front Intertropical (FIT), notamment dans les régions de l'extrême sud, celles situées au sud du 22^{ème} parallèle Nord et la bande frontalière Algéro-nigéro-maliènne. En période automno-hivernale où les pluies sont absentes, la végétation persiste à la faveur de la réserve hydrique issue de la saison des pluies durant la période estivale et les basses températures.

Le régime alimentaire des populations acridiennes prélevées dans deux stations d'étude de la région de Tamanrasset, n'est pas très varié, les criquets se sont contentés de quelques espèces végétales. Les femelles ont consommé 4 à Oued Amded et 5 espèces végétales à Oued Arak et les mâles n'ont consommé que 2 à Oued Amde et 5 à Oued Arak sur le total des espèces existantes dans les deux stations.

L'espèce végétale la plus consommée aussi bien par les femelles que par les mâles dans les deux stations est *Schouwia thebaica*. Cette espèce a constitué 63% et 44% du régime alimentaire des individus prélevés, respectivement dans la station de Oued Amded et Oued Arak.

Les mesures morphométriques réalisées sur deux échantillons du criquet pèlerin concernant la longueur de l'élytre, du fémur et la largeur de la capsule céphalique placent les populations parmi les transiens.

Pour l'avenir, nous suggérons la comparaison de plusieurs images satellite successives, afin d'étudier l'évolution précise du tapis végétal au niveau des degrés carrés de forte fréquence des signalisations. Cette démarche va permettre de faire un classement de plusieurs zones : très favorables, favorables et peu favorables à la reproduction du criquet pèlerin qui va conduire à la détection précoce de toute tentative de reproduction en masse, synonyme d'un début d'invasion.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme, 1992** : Pour combattre les locustes et les sauteriaux.
- Anonyme, 1993** : *Téledétection pratique*. Stage d'initiation, Montpellier, 28/12/1990 au 27/02/1991.
- Anonyme, 1994**: Institute for remote sensing application. Joint research centre European commission, 153p.
- 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.
- Aronoff S., 1989**: *Geographic information systems : A management perspective*. WDL. Ed. Ottawa. Actes du colloque international de Montréal, 80p.
- 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, 129 p.
- Benhalima T., Gillon Y. et Louveaux A., 1984** : Utilisation des ressources trophiques par *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Orthoptera, Acrididae). *Acta oecologia, oecol. gener.*, Vol. 5, n°4, pp 383-406.
- Benhalima T., Gillon Y. et Louveaux A., 1985** : Spécialisation trophique individuelle dans une population de *D. maroccanus* (Orthoptera, acrididae). *Acta oecologia, oecol. gener.*, Vol. 6, n°1, pp 17-24
- Benzineh S., 2002** : Outils et méthodes géomatiques pour le développement de l'agriculture et la gestion des ressources naturelles. Stage de formation, Alger, du 9 au 22 décembre 2002.
- Bernard C., Freycon, V., Gazull, L., Lo Seen, D. et Trébuchon, J.F., 1997** : *Le géoréférencement ou comment maîtriser l'intégration de données multisources dans un S.I.G.* Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, 50p.
- Bonn F. 1996** : *Précis de télédétection*, vol 2 : Application thématique. Presses de l'université du Québec, Sillery, 633 pages.
- Bonn F., 2001** : *Précis de télédétection*, vol 3 : Traitement d'images en télédétection. Presses de l'université du Québec, Sillery 556 p.
- Bonn F., et Rochon G., 1992** : *Précis de télédétection*, vol 1 : Principes et méthodes. Presses de l'université du Québec, Sillery, 485 pages.
- Butet A., 1985** : *Méthode du régime alimentaire du rongeur polyphage (Apodemus sylvaticus L., 1758) par l'analyse microscopique des fèces*. *Mammalia*, T.49, n°4, pp. 445-483.
- Caloz A., 1990** : *Notes de cours*. Institut d'aménagement des terres et des eaux, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 125 pages.

-
- Castel J.M., 1982** : La poussée du criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest en 1980 FAO, Rome, AGP/DL/TS/23 : 75-107
- Ceccato P., 2002** : *Criquet pèlerin et télédétection* : Manuel de visualisation et d'Analyse des Images SPOT4- VEGETATION, AGPP, FAO, Rome, 22p.
- Cervelle B., 1989** : *Spot, des yeux braqués sur la terre*. Presses de CNRS, Paris, 214 p.
- 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.
- Chara B., 1984** : *Régimes alimentaires et production des œufs des acridiens dans la nature. Introduction aux méthodes d'étude*. Mémoire D.E.A. Univ. d'Aix-Marseille III, 51 p.
- Chara B., 1987** : *Etude comparée de la bioécologie de *Calliptamus barbarus* (Costa, 1836) et de *Calliptamus wattenylianus* (Plentet, 1896) (Orthoptera-Acrididae) dans l'Ouest algérien*. Thèse Doc. Ing. de l'univ. d'Aix-Marseille, 190 p.
- Chara B., 2003** : *Aires de reproduction et mouvements des populations du Criquet pèlerin en région occidentale durant la période de rémission*. Rapport réunion programme EMPRES, Niger, 9p.
- Dajoz R., 1972** : *Précis d'écologie*. Ed. Dunod, Paris, 434p.
- Dizier J.L., 1985** : *Télédétection, technique et applications cartographiques*. Direction des ressources naturelles et télédétection. Paris 275p.
- Doumandji-Mitiche B., Doumandji S., Kara F.Z., Ouchen D. et Mehenni M. 1996a** : Comparaison du régime alimentaire de la sauterelle pèlerine *Schistocerca gregaria* à Adrar et Tamanrasset (Sahara, Algérie). *Med. Fac. Landbouwn. Univ. Gent*, 61/a, pp : 745-752.
- Doumandji-Mitiche B., Doumandji S., Seddik A., et Ouchen D. 1996b** : Comparaison des indices morphométriques de la sauterelle pèlerine *Schistocerca gregaria* Forskal, 1775 à Adrar et Tamanrasset (Sahara, Algérie) en 1995. *Med. Fac. Landbouwn. Univ. Gent*, 61/a, pp : 777-780.
- Doumandji S. et Doumandji-Mitiche B., 1994** : *Criquets et sauterelles (Acridologie)*. Ed. Off. Publ. Univ, Alger, 99p.
- Durantou J.F., Launois-Luong M.H., et Lecoq M., 1982** : *Manuel de prospection antiacridienne en zone sèche*. Ed. GERDAT, TI, France, 706 P.
- Durantou J.F., et Lecoq M., 1990** : *Le criquet pèlerin au Sahel*. Colle. Acrido. Opératio., n°6, CILSS-DFPV, Niamey, Niger, 183 p.
- FAO., 1996** : *Système de prévision des urgences « EMPRES »*, FAO. Rome.
- Ghaout S., 1990** : *Contribution à l'étude des ressources trophiques de (*Schistocerca gregaria* Forsk. Orthoptera, Acrididae) solitaire en Mauritanie occidentale et télédétection de ses biotopes par satellite*. Thèse Doc. Sci., Orsay, 201 p.
- Girard M.C., 1989** : *Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales*. Edition Dunod, Paris, 260 p.
-

- Girard M.C., 1999** : *Traitement des données en télédétection*. Edition Dunod, Paris, 529 p.
- Grivard P., Chaudum V., Chouard P., Guillaumin A., Schneiter P., 1964** : *Le bon jardinier*. Encyclopédie horticole. Ed., la maison rustique, vol II, Paris, pp 888-1667.
- Kara F. Z., 1997** : *Etude de quelques aspects écologiques et régime alimentaire de Schistocerca gregaria (Forskal, 1779) (Orthoptera – Cyrtacanthacridinae) dans la région d'Adrar et en conditions contrôlées*. Thèse de magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 182 p.
- Khider B., 1999** : *Biométrie, régime alimentaire et répartitions des zones de reproduction du Criquet pèlerin Schistocerca gregaria Forskal, 1775 (Orthoptera – Cyrtacanthacridinae), au sud algérien*. Thèse de magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 149 p.
- Launois- Luang M.H et Popov G.B., 1992** : *Schistocerca gregaria (Forskal, 1775), Acrididae – Cyrtacanthacridinae*. Ed. Ent., France, 91 (3-4), pp. 73-86.
- Lazar M., 2002** : *Suivi de la végétation dans deux zones de reproduction du criquet pèlerin dans le sud algérien par l'utilisation d'un système d'information géographique et des données satellitaires*. Mémoire Diplôme de spécialisation Post Universitaire, ENGREF. Montpellier, 23p.
- Magor J.I., 1962**: *Rainfall as a factor in the geographical distribution of the desert locust breeding areas, with particular reference to summer breeding areas of India and Pakistan*. Ph. D.Thesis, University of Edinburg, 110p.
- Magor J.I., 1993** : *Le criquet pèlerin : dynamiques des populations. Lutte contre le criquet pèlerin par les techniques existantes, « évaluation des stratégies »*. Compte-rendu du séminaire de Wageningen, Pays Bas, 6-11 décembre 1993, pp 11-17.
- Mougenot B. et Bégricé A., 2000**: *Application of vegetation data to resource management in arid semi-arid range lands*. CIRAD, Maison de la télédétection, pp 389-395.
- Ozenda P., 1983** : *Flore du Sahara*. Ed. CNRS, Paris, 622 p.
- Pasquier R., 1952** : *Quelques propositions de terminologie acridienne. Première note. Terminologie concernant le comportement et l'aspect des Acrididae gregariaptés*. *Anns. Inst. Agric. Alger.*, pp 6-16.
- 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.
- Pellant C., 2001**: *Roches et Minéraux, 500 spécimens*. Ed. Bordas, Londre, 256 p.
- Popov G.B., 1958** : *Ecological studies on ovipositor by swarms of the desert locust (Schistocerca gregaria Fosal) in Eastern Africa*. *Anti-locust Bull.*, London. 31. 70p.
- Popov G.B., 1997** : *Atlas des aires de reproduction du criquet pèlerin*. Ed. FAO Rome, 122p.
- Popov G.B., Duranton J.-F. et Gigault J ., 1991** : *Etude écologique des biotopes du Criquet pèlerin (Schistocerca gregaria Forskal, 1775) en Afrique Nord-occidentale*.

Mise en évidence et description des unités territoriales écologiquement homogènes.
Vol. 18, coll. les acridiens, CIRAD-PRIFAS: Montpellier, 744 p.

Reeves R., Anson A. et Landen D., 1975 : *Manual of remote sensing.* American society of photogrammetry falls church, Virginia. 887p.

Robin M., 1998 : *La télédétection des satellites aux systèmes d'information géographique.* 309 p.

Sitouh M ., 1976 : Relations entre les crues et *Schistocerca gregaria* Forsk. en phase solitaire dans le Sahara Central de 1967 à 1972, *Ann. de l'INA El Harrach*, vol., VI n °4, pp. 32-83.

Symmos P.M. et Cressman K., 2001: *Directives sur le Criquet Pèlerin.* Vol.1, Biologie, FAO, Rome, 43 p.

Uvarov B.P., 1966: *Grasshoppers and Locusts.* A handbook of General acridologie.Vol. I., Cambridge Univ.Presse, 481p.

Uvarov B.P., 1977: *Grasshoppers and Locusts.* A handbook of General acridologie .Vol I, London, Centre for Overseas Pest Research, 613 p.

Wilmet J. 1996 : *Télédétection aérospatiale méthodes et application.* Edition Sides, Paris, 295 p.

Annexes

Annexe1 : Quelques espèces végétales qui peuvent influencer l'indice de la végétation.



*Photographie n°1 : Schouwia thebaica en plein développement
(photo. Prise à Oued Amded Tamanrasset, INPV 2003)*



*Photographie n°2 : Colocynthis vulgarisen plein développement
(photo. Prise à Oued Ameded Tamanrasset, INPV 2003)*



*Photographie n°3 : Zygophyllum albumen plein
développement (photo. Prise à Adrar, INPV 2003)*



Photographie n°4 : parcelle de culture fourragère (luzerne) (photo. Prise à Adrar, INPV 2003)



Photographie n°5 : Zilla spinosaplein développement (photo. Prise à Adrar, INPV 2003)

Annexe 2 : Fréquence annuelle des pluies dans du Sahara central d'après Sitouh, 1976.

Régions	Fréquence annuelle des pluies en jours
Ouest du Plateau du Tademaït	1
Ouest du Hoggar	1
Tanezrouft oriental	1
Sud du Tassili Ajjers	3
Nord Assedjerad	3
Est-Nord-Est dt Tademaït	4
Nord Mouydir	4
Sud Mouydir	4
Ahnet	4
Assedjerad	4
Ouest Igharghar	5

Annexe 3 : Les quantités des pluies (mm) enregistrées durant l'année 2002(ONM)

A : Régions du Hoggar, Tassili et extrême sud

Localités	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Tamanrasset	-	-	-	-	2	-	-	30	6	11	80	-
Asskrem	-	-	-	2	-	-	-	-	9	7	-	-
Arak	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-
In Guezzam	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Tazrouk	-	-	-	1	-	-	-	-	-	41	-	-
Abalissa	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Tit	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ain Amguel	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
In Martek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
Irafok	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Silet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-
Tinef	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Djanet	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
B.B Mokhtar	-	-	-	-	-	3	-	4	4	29	-	-
Illizi	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-

B : Régions du sud-ouest

Zones de reproduction potentielles du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskal. 1775 dans le sud algérien

Localités	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Béchar	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-
Mechria	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-
Kheiter	-	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-
Ain Sefra	-	7	-	18	-	3	-	12	3	-	-	-
Tindouf	-	-	-	25	-	-	-	24	-	70	-	-

C : Régions du Sahara central et septentrional

Localités	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Arak	-	-	-	7	-	-	-	4	-	-	3	-
Amguid	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-
El Goléa	-	-	-	-	6	-	-	-	5	32	-	-
H. Rmel	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
El Oued	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Ghardaia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biskra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ouargla	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 4 : Les quantités des pluies enregistrées (mm) durant l'année 2003(ONM)

A : Régions du Hoggar, Tassili et extrême sud

Localités	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Tamanrasset	-	-	-	-	-	13.8	-	32	6	11	3	-
Asskrem	-	-	-	-	-	13.4	28	17	-	37	-	-
Akaraker	-	-	-	-	-	17	12	-	-	-	-	-
In Guezzam	-	-	-	-	-	3.5	-	-	-	-	-	-
Tazrouk	-	-	-	-	-	-	30	28	-	-	-	-
Abalissa	-	-	-	-	-	-	25	22	-	-	-	-
Tit	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-
Ain Amguel	-	-	-	-	-	-	7	22	-	-	-	-
In Martek	-	-	-	-	-	-	-	44	-	-	-	-
Hirafok	-	-	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-
Silet	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-
Tinef	-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-
Djanet	-	-	-	-	-	-	13	-	5	-	-	-
B.B Mokhtar	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-
Illizi	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-
Saftrat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-

B : Régions du sud-ouest

Localités	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Béchar	-	10	-	-	-	-	-	-	9	-	13	-
Mechria	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
Kheiter	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
Ain Sefra	-	-	-	-	-	3	-	15	3	-	-	-
Tindouf	-	-	-	-	-	-	-	24	-	70	-	-

C : Régions du Sahara central et septentrional

Localités	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Adrar	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	3	-
Laghouat	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
H. Messaoud	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-
H. Rmel	-	-	-	-	-	-	-	5	-	9	-	-
El Oued	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	-	-
Ghardaia	-	-	-	-	-	-	-	-	11	12	-	-
Biskra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-
Ouargla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-