



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر  
ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE – EL HARRACH- ALGER

# THÈSE

*En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences agronomiques*

Département : Zoologie agricole et forestière

## THEME

Processus de grégarisation de la sauterelle pèlerine *Schistocerca gregaria*  
(Forskäl, 1775) et recherche de foyers grégarigènes naturels au Sahara

**Présenté par :** Mr.HARIZIA Abdelkader

**Soutenu le :** 16 mars 2015

*Devant le jury :*

**Président :** Mme. DOUMANDJI-MITICHE Bahia      Professeur (E.N.S.A. El Harrach)

**Promoteur :** M. DOUMANDJI Salaheddine      Professeur (E.N.S.A. El Harrach)

**Examineurs** M. BENABDELI Kheloufi      Professeur (Université Mascara)  
Melle. ACHEUK Fatma      MCA. (Université Boumerdes)  
BISSAAD Fatma-Zohra      MCA. (Université Boumerdes)  
M. HAMMACHE Miloud      MCA. (E.N.S.A. El Harrach )

# *Dédicaces*

*A*

*La mémoire de mon père,*

*Ma mère,*

*Mes enfants :*

*Assala, Angham, Asmaa, Rayane et Jaoued*

*Et à ma femme.*

## Remerciements

A l'issue de la rédaction de cette recherche, je suis convaincue que la thèse est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail doctoral sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité, la bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche m'ont permis de progresser dans cette phase délicate de « l'apprenti chercheur ».

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, monsieur le Professeur DOUMANDJI Salaheddine, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail, pour ses multiples conseils et pour toutes les heures qu'il a consacrées à diriger cette recherche *avec beaucoup de pertinence*. J'aimerais également lui dire à quel point j'ai apprécié sa grande disponibilité et surtout son soutien moral et ses encouragements.

Enfin, j'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de ce travail et aussi le long de ma formation de graduation et de la 1<sup>er</sup> post graduation.

Je souhaiterais exprimer ma profonde gratitude à Madame le professeur DOUMANDJI-MITICHE Bahia pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury, je la remercie également pour son aide, son entière disponibilité et ses multiples encouragements.

Je sais infiniment gré à monsieur le Professeur BENABDELI Kheloufi de s'être rendu disponible pour la soutenance, de m'avoir prodigué maints conseils et d'avoir accepté de faire partie du jury. Je le remercie également pour ses encouragements pour l'intérêt dont il a fait preuve envers ma recherche et pour son ouverture d'esprit.

Mes remerciements vont également à monsieur HAMMACHE Miloud pour avoir accepté de participer à ce jury de thèse. Je lui suis particulièrement reconnaissant et je le remercie pour les conseils prodigués lors de mes précédentes années de formation. Je remercie Madame BISSAD Fatma Zohra pour avoir accepté de participer au jury et pour son entière disponibilité. Je remercie également Madame ACHEUK Fatma d'avoir accepté de participer au jury de ma thèse et pour son entière disponibilité.

Mes remerciements vont particulièrement aux membres du laboratoire *géo-environnement* et développement des espaces et du laboratoire de recherche sur les systèmes biologique et la géomatique de l'université de  *Mascara*.

J'exprime ma gratitude au docteur Benguerrai A., maître de conférences à l'université de Mascara, pour l'assistance sur terrain et pour la réalisation des cartes thématique par le traitement de l'image satellite ainsi que pour toutes les heures de travail qu'on a eu à la manipulation des logiciels et à l'interprétation des cartes. Je remercie également Mr Zaagane M. et Mr Benaaricha B., pédologues à l'université de Mascara pour leur aide précieuse et leur soutien continue.

Je remercie infiniment Mr Bekoussa B maître de conférences pour la réalisation des classifications ascendantes hiérarchiques, ainsi que Mr Louissi A., maître assistant statisticien de l'université de Mascara pour sa contribution à la réalisation des ACP.

Je remercie Mme Talia A., maître de conférences à l'université de Mascara pour son aide, la documentation fournie, et son soutien permanent. Je remercie vivement Mrs Mebarki A., Aguir M et Melle Bouchena W., ingénieurs zoophytiatres de la région d'Adrar pour leur contribution et leurs aides précieuses. Je remercie également Me Louissi M., vice doyen de la faculté des sciences de la nature et de la vie ainsi que les chefs de département des sciences agronomiques et biologie Mrs Bezzaatar B. et Benarba B. pour leurs compréhension, leur soutien et leur aide. Je remercie aussi mes collègues pour leur soutien permanent. *Je remercie tous les responsables et personnels de l'Ecole Nationale Supérieurs d'Agronomie d'el Harrach de m'avoir permis les inscriptions en thèse et faciliter les démarches administratives pour l'avancement de mes recherches et la finalisation de cette thèse, en particulier Mme Sadouki et Mr Biche M.* Je remercie Mr Chouaki S. de l'Institut National de la Recherche Agronomique pour son aide, sa gentillesse et de m'avoir faciliter l'hébergement au sein de sa structure, a chaque fois que c'était nécessaire. Je remercie Melle Zenati W. pour son aide précieuse, son soutien et son assistance. Je remercie aussi Mme Marniche F. pour son aide et sa disponibilité. Je ne saurai oublier de citer Mme Daoui Amina pour sa compréhension et son soutien permanent. Je remercie Mme Moumenine Z. et Mr Hammimed A., maitres de conférences à l'université de Mascara pour la documentation fournies et leur soutien. Un grand merci a Mme Harizia A, informaticienne, pour le traitement de texte et la contribution aux corrections de la page bibliographiques. Je remercie également Mrs Righi K., Mathieu V. et Mme Benmokhtar N. respectivement pour la traduction en anglais et en arabe. Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

## Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I - Caractéristiques du modèle biologique: <i>Schistocerca gregaria</i></b>	<b>06</b>
1.1. - Position taxonomique	06
1.2. - Polymorphisme phasaire chez la Sauterelle pèlerine	06
1.3. - Biotopes du Criquet pèlerin	10
1.4. - Aire d'habitat	10
1.5. - Cycle biologique	12
1.6. - Action de quelques facteurs abiotiques sur <i>S. gregaria</i>	14
1.7. - Régime alimentaire de <i>S. gregaria</i>	14
1.8. - Plantes toxiques vis a vis du Criquet pèlerin	14
<b>Chapitre II- Présentation de la région d'étude</b>	<b>16</b>
2.1. Principales caractéristiques du Sahara algérien	16
2.1.1. Situation géographique	16
2.1.2. Hydrographie, géomorphologie et sols	16
2.1.2.1. Hydrologie	17
2.1.2.2. Géomorphologie	17
2.1.2.3. Sols	17
2.3. Unités hydrographiques du Sahara et ressources en eau superficielles	17
2.4. Caractéristiques générales du Climat	18
2.4.1. Caractéristiques géographiques des stations météorologiques	18
2.4.2. Pluviométrie	21
2.4.3. Températures	22
2.4.4. Vents et humidité relative de l'air	22
2.5. Flore et faune	30
<b>Chapitre III – Méthodologie</b>	<b>32</b>
3.1. Processus de grégarisation de <i>S. gregaria</i> et recherche de foyers grégarigènes naturels au Sahara	32
3.1.1. Choix des secteurs et de la période d'étude	32
3.1.2. Acquisition des données acridiennes	34
3.1.2.1. Données DLIS - FAO	34
3.1.2.2. Technique utilisée sur le terrain	35

3.1.2.3. Organisation des bases de données	35
3.1.3. Etude morphométrique	36
3.1.4 Utilisation de la télédétection	37
3.1.4.1. Imagerie satellitaire Landsat 5 TM	37
3.1.4.2. Carte d'occupation du sol et classification des pixels	38
3.1.4.3. Calcul des paramètres géophysiques	38
3.1.4.3.1. Indice de végétation (NDVI)	38
3.1.4.3.2. Indice de brillance (albédo) des sols	39
3.1.4.3.3. Indice de rougeur ou de couleur IR	42
3.1.5. Traitement des données	42
3.1.5.1. Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)	42
3.1.5.2. Utilisation de la Classification Ascendante Hiérarchisée (CAH)	43
3.1.5.3. Anova et analyses des corrélations	43
3.2. Etude des effets toxicologiques de <i>Nerium oleander</i> L. sur les larves de <i>S. gregaria</i>	43
3.2.1. Elevage des criquets	44
3.2.2. <i>Nerium oleander</i>	44
3.2.3. Extraction de l'huile essentielle	44
3.2.4. Tests de toxicité par ingestion sur les larves L <sub>5</sub>	45
3.2.5. Analyse physico-chimique de l'huile essentielle de <i>N. oleander</i>	45
3.2.5.1 Rendement en huile essentielle	46
3.2.5.2. Détermination du pH et la densité à 20 °C	46
3.2.5.3. Indice de réfraction et pouvoir rotatoire	46
3.2.6. Analyses statistiques	47
<b>Chapitre IV - Résultats</b>	<b>48</b>
4.1. Processus de grégarisation de la sauterelle pèlerine au Sahara	48
4.1.1. Occurrence annuelle des relevés de <i>S.gregaria</i>	48
4.1.2. Occurrence mensuelle de <i>S. gregaria</i>	49
4.1.2.1. Classification ascendante hiérarchique des différents stades de <i>S. gregaria</i>	51
4.1.2.2. Occurrences mensuelles par année d'étude	55
4.1.3. Occurrence des populations de <i>S. gregaria</i> par zone géographique	60
4.1.3.1. Fréquences d'occurrence phéno-phasaire par secteur d'étude du Sahara	60
4.1.3.2. Larves et ailés solitaires	61

4.1.3.3. Larves et ailés transiens	62
4.1.3.4. Larves et ailés grégaires	62
4.1.4. Action de la pluviométrie et de la température sur les populations de	
<i>S. gregaria</i>	62
4.1.5. Etude morphométrique des individus de <i>S. gregaria</i>	70
4.1.5.1. Indices morphométriques des individus d'Aoulef et de Zaouiet	70
Kounta	
4.1.5.2. Analyse en composantes Principale ACP	71
4.1.5.2.1. ACP des individus capturés à Zaouiet Kounta	71
4.1.5.2.2. ACP des individus capturés à Aoulef	77
4.2. Biotopes naturels et foyers de grégarisation potentiels au Sahara	81
4.2.1. Traitement de l'image satellitaire Landsat TM	81
4.2.1.1. Caractéristiques géographique de l'image Landsat TM	81
4.2.1.2. Composition coloré de l'image Landsat TM	81
4.2.1.3. Indice de végétation NDVI	83
4.2.1.4. Indice de brillance des sols	84
4.2.1.5. Indice de rougeur	84
4.2.2. Carte d'occupation du sol et biotopes naturels	84
4.3. Effet des huiles essentielles de <i>Nerium oleander</i> sur les larves L <sub>5</sub> de <i>S. gregaria</i>	90
4.3.1. Propriétés physiques et chimiques de l'huile essentielle de <i>N. oleander</i>	91
4.3.2. Action sur la prise de nourriture, le poids vif et la mortalité	91
4.3.3. Effet sur le TL50	91
<b>Chapitre V – Discussions</b>	<b>94</b>
5.1. Processus de grégarisation de la Sauterelle pèlerine	94
5.1.1. Occurrence globale de <i>Schistocerca gregaria</i>	94
5.1.2. Occurrence mensuelle de <i>S. gregaria</i>	95
5.1.3. Etude phénologique et phasaire par année d'étude	96
5.1.4. Occurrence géographique des populations de <i>S. gregaria</i>	99
5.1.5. Action de la pluviométrie et de la température	100
5.1.6. Etude morphométrique des individus	101
5.2. Foyers de grégarisation naturels potentiels au Sahara	102
5.2.1. Traitement de l'image satellitaire Landsat TM	102
5.2.2. Indice de végétation, indice de brillance et indice de rougeur des sols	104

5.2.3. Carte d'occupation du sol et biotopes naturels	105
5.3. Effet des huiles essentielles de <i>Nerium oleander</i> sur les larves L <sub>5</sub> de <i>S. grégaria</i>	107
<b>Conclusion générale</b>	<b>109</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>114</b>
<b>Annexes</b>	<b>129</b>
<b>Résumés</b>	<b>141</b>



## Liste des abréviations

**D.L.I.S.** Desert Locust Information Service

**ENVI.** ENvironment for Visualising Images.

**F.A.O.** Food and Agriculture Organization

**MapInfo.** Map Informatique

**na K ATPase.** Pompe sodium-potassium

**NDVI.** Normalized Difference Vegetation Index

**TM.** Thematic Mapper

## Liste des Figures

<b>Figure. 1.</b> Criquet pèlerin <i>Schistocerca gregaria</i> .	08
<b>Figure. 2.</b> Individus solitaires et grégaires de <i>Schistocerca gregaria</i>	09
<b>Figure. 3.</b> Action de la densité de végétation sur le polymorphisme phasaire	09
<b>Figure. 4.</b> Zones de reproduction de criquet pèlerin en période de rémission	11
<b>Figure. 5.</b> Cycle biologique du Criquet pèlerin	13
<b>Figure.6.</b> Situation géographique du Sahara Algérien	19
<b>Figure.7.</b> Grandes subdivisions phytogéographiques du Sahara	20
<b>Figure.8.</b> Unités hydrographiques du bassin saharien	24
<b>Figure.9.</b> Etages bioclimatiques au Sahara	25
<b>Figure.10.</b> Variations de la pluviométrie annuelle et moyenne dans le Sahara	26
<b>Figure.11.</b> Variation mensuelle de la température moyenne dans le Sahara (2007-2010)	27
<b>Figure.12.</b> Vitesse moyenne mensuelle (km/h) du vent dans le Sahara (2007-2010)	28
<b>Figure.13.</b> Variabilité moyenne mensuelle de l'humidité relative (%) de l'air dans le Sahara (2007-2007)	29
<b>Figure.14.</b> Carte des précipitations annuelles (1968-2000)	29
<b>Figure.15.</b> Délimitation géographique de l'aire d'étude au Sahara	33
<b>Figure.16.</b> Mesures morphométriques de Dirsh, 1953	40
<b>Figure.17.</b> Abaque morphométrique de Rungs (1954)	40
<b>Figure.18.</b> Image satellitaire Landsat TM brute (Bande 3) du 09 avril 2007 de l'aire d'étude au Sahara	41
<b>Figure.19.</b> Fréquences annuelles de <i>S. gregaria</i> par stade phéno-phasaire (2007-2010)	50
<b>Figure. 20.</b> Dendrogramme (CAH) des variables acridiennes sur un pas de temps mensuel pendant la période d'étude	53
<b>Figure.21.</b> Dendrogramme (CAH) des variables mensuelles en fonction des observations qualitatives de <i>S. gregaria</i>	54
<b>Figure.22.</b> Fréquence mensuelle de <i>S. gregaria</i> par stade phéno-phasaire en 2007	56
<b>Figure.23.</b> Fréquence mensuelle de <i>S. gregaria</i> par stade phéno-phasaire en 2008	57
<b>Figure.24.</b> Fréquence mensuelle de <i>S. gregaria</i> par stade phéno-phasaire en 2009	58
<b>Figure.25.</b> Fréquence mensuelle de <i>S. gregaria</i> par stade phéno-phasaire en 2010	59

<b>Figure.26.</b> Occurrence mensuelle des larves solitaires de <i>S. gregaria</i> dans le Sahara	64
<b>Figure.27.</b> Occurrence mensuelle des ailés solitaires de <i>S. gregaria</i> dans le Sahara	65
<b>Figure.28.</b> Occurrence mensuelle des larves transiens de <i>S. gregaria</i> dans le Sahara	66
<b>Figure.29.</b> Occurrence mensuelle des ailés transiens de <i>S. gregaria</i> dans le Sahara	67
<b>Figure.30.</b> Abaque morphométrique des individus de <i>S. gregaria</i> d'Aoulef et de Zaouiet Kounta	72
<b>Figure.31.</b> Projection des variables E, F, C, E/F et F/C sur le plan factoriel	75
<b>Figure.32.</b> Projection des individus de <i>S. gregaria</i> sur le plan factoriel	76
<b>Figure.33.</b> Projection des variables E, F, C, E/F et F/C sur le plan (Fact.1 x Fact2)	79
<b>Figure.34</b> - Projection des individus du Criquet pèlerin sur le plan factoriel	80
<b>Figure.35</b> - Composition colorée de l'image Landsat TM du 9 Avril 2007 du secteur d'étude	82
<b>Figure.36.</b> Carte de l'indice de végétation NDVI de l'aire d'étude en 2007	86
<b>Figure.37.</b> Carte de l'indice de brillance de l'aire d'étude en 2007	87
<b>Figure. 38.</b> Carte de l'indice de rougeur de l'aire d'étude en 2007	88
<b>Figure.39.</b> Occupation du sol et limites spatiales des zones de végétation dans l'aire d'étude	89
<b>Figure. 40.</b> Effet de l'huile essentielle des feuilles de <i>N. oleander</i> sur le poids moyen des larves L <sub>5</sub> de <i>S. gregaria</i> (moyennes ± écart-type)	92
<b>Figure.41</b> - Effet de l'huile essentielle de <i>N. oleander</i> sur la prise de nourriture des larves L <sub>5</sub> de <i>S. gregaria</i> (moyennes ± écart-type)	92
<b>Figure.42.</b> Effet de l'huile essentielle des feuilles de <i>N. oleander</i> sur le taux de mortalité cumulée des larves L <sub>5</sub> de <i>S. gregaria</i>	93
<b>Figure.43.</b> Efficacité de l'extrait de <i>N.oleander</i> , dans le temps (log temps) sur les larves L <sub>5</sub> de <i>S. gregaria</i>	93

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> - Durées en jours des principales étapes du cycle biologique de <i>S. gregaria</i> en fonction des états phasaires et des conditions écologiques (Popov, 1989)	12
<b>Tableau 2</b> - Caractéristiques géographiques des stations météorologiques du Sahara	21
<b>Tableau 3</b> - Pluviométrie (mm) et températures moyennes (T ° C) mensuelles de la station météorologique d'Adrar (2007-2010)	129
<b>Tableau 4</b> - Pluviométrie (mm) et températures moyennes (T ° C) mensuelles de la station météorologique de Béchar (2007-2010)	129
<b>Tableau 5</b> - Pluviométrie (P mm) et températures moyennes (T ° C) mensuelles de la station météorologique de Tamanrasset (2007-2010)	130
<b>Tableau 6</b> - Humidité relative en % et vitesse du vent, V en km/h, par station météorologique (moyennes 2007-2010)	130
<b>Tableau 7</b> - Model de fiche de saisie synthétique des informations phéno-phasaire de <i>S. gregaria</i>	131
<b>Tableau 8</b> - Model de fiche de saisie synthétique des informations relatives au comportement de <i>S. gregaria</i>	131
<b>Tableau 9</b> - Indices morphométriques de <i>S. gregaria</i> établis par Dirsh (1953)	36
<b>Tableau 10</b> - Caractéristiques de l'image Landsat 5 TM	38
<b>Tableau 11</b> - Occurrence annuelle de <i>S. gregaria</i> par stade phénologique et phasaire au Sahara (2007-2010)	49
<b>Tableau 12</b> - Occurrence mensuelle des populations de <i>S. gregaria</i> (2007-2010)	49
<b>Tableau 13</b> - Classes des variables phénologiques et phasaires de <i>S. gregaria</i>	52
<b>Tableau 14</b> - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de <i>S. gregaria</i> pour l'année 2007	132
<b>Tableau 15</b> - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de <i>S. gregaria</i> pour l'année 2008	132
<b>Tableau 16</b> - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de <i>S. gregaria</i> pour l'année 2009	133

<b>Tableau 17</b> - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de <i>S. gregaria</i> pour l'année 2010	133
<b>Tableau 18</b> - Caractéristiques géographiques et régions principales des secteurs d'étude	60
<b>Tableau 19</b> - Fréquence d'occurrence des relevés de <i>S. gregaria</i> par secteur saharien (2007-2010)	61
<b>Tableau 20</b> - Occurrence géographique mensuelle des larves de <i>S. gregaria</i> par stade phasaire (2007-2010)	134
<b>Tableau 21</b> - Occurrence géographique mensuelle des ailés de <i>S. gregaria</i> par stade phasaire (2007-2010)	134
<b>Tableau 22</b> - Coefficient de corrélation de la pluviométrie et de la température avec les populations de <i>S. gregaria</i> (2007-2010)	68
<b>Tableau 23</b> - Analyse de la variance (Anova) des populations de <i>S. gregaria</i> et de la pluviométrie (mm) au seuil de signification de 5 % ( $p < 0,05$ )	68
<b>Tableau 24</b> - Analyse de la variance (Anova) des populations de <i>S. gregaria</i> et de la température moyenne (°C) au seuil de signification de 5 % ( $p < 0,05$ )	69
<b>Tableau 25</b> - Indices morphométrique des individus de <i>S. gregaria</i> capturés à Aoulef et de Zaouiet Kounta	70
<b>Tableau 26</b> - Indices morphométriques des individus de <i>S. gregaria</i> capturés à Zaouiet Kounta (Adrar)	135
<b>Tableau 27</b> - Indices morphométriques des individus de <i>S. gregaria</i> capturés à Aoulef (Adrar)	136
<b>Tableau 28</b> - Corrélation des variables morphométriques et des facteurs	74
<b>Tableau 29</b> - Qualité de projection des variables morphométriques ( $\text{Cos}^2$ )	74
<b>Tableau 30</b> - Matrice de corrélation des variables morphométriques	76
<b>Tableau 31</b> - Corrélation des variables morphométriques et des facteurs	77
<b>Tableau 32</b> - Qualité de projection des variables morphométriques	78
<b>Tableau 33</b> - Matrice de corrélation entre les variables morphométriques	80
<b>Tableau 34</b> - Caractéristiques géographiques de l'image Landsat TM	81

<b>Tableau 35-</b> Classification des valeurs de l'indice de végétation NDVI de l'aire d'étude	83
<b>Tableau 36</b> -Surface en ha des unités délimitées dans l'aire d'étude avec Landsat	90
<b>Tableau 37</b> - Propriétés physiques de l'huile essentielle des feuilles de <i>N. oleander</i>	91
<b>Tableau 38</b> - Evolution pondérale et consommation (g) moyenne des larves L <sub>5</sub> de <i>S. gregaria</i> mises en présence des feuilles de chou traitées par L'extrait de <i>N. oleander</i>	137
<b>Tableau 39</b> - Analyse de la variance appliquée aux larves L5 de <i>S. gregaria</i> traitées aux huiles essentielles de <i>N. oleander</i> , variable consommation des témoins	137
<b>Tableau 40</b> - Analyse de la variance appliquée aux larves L5 de <i>S. gregaria</i> traitées aux huiles essentielles de <i>N. oleander</i> , variable consommation larves traitées.	137
<b>Tableau 41</b> - Cinétique de la mortalité cumulée en % et temps léthal 50, 90 et 99 en jours des larves L <sub>5</sub> de <i>S. gregaria</i> traitées à l'huile essentielle de <i>N. oleander</i>	138

## Introduction

Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) est un acridien doté de polymorphisme phasaire. C'est un redoutable insecte, vorace et capable de s'adapter à des situations écologiques variées. Il occasionne périodiquement, notamment lors des invasions, des dégâts considérables sur les cultures. Dans les zones arides et semi-arides d'Afrique, du Moyen-Orient et d'Asie, le Criquet pèlerin constitue une menace permanente pour la sécurité alimentaire et pour l'environnement (Lecoq, 2004). Par rapport à son importance économique, il est le sujet de nombreuses recherches (Azizi *et al.*, 2010). Lorsqu'une invasion de criquets pèlerin se développe, toutes les formations végétales peuvent en subir les conséquences. En effet les dégâts peuvent être notables sur les cultures annuelles, les cultures pérennes et les cultures irriguées (Lecoq, 2003). Dans le passé, les pertes dues aux invasions de *S. gregaria* n'ont malheureusement été que trop rarement estimées. Il est précisé qu'un km<sup>2</sup> occupé par un essaim de criquets pèlerins, qui peut renfermer 50 millions d'individus, consommerait près de 100 tonnes de matières fraîches par jour. (Thiam, 1991). D'importants dégâts ont conduit à de nombreuses famines, telles que l'invasion au Maroc en 1780 (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994), et celle de l'Ethiopie et du Soudan en 1950 (Lecoq, 2004). Les zones pastorales subissent également des destructions importantes affectant à la fois la biomasse et son appétibilité pour les animaux. Localement, une compétition alimentaire entre les acridiens et les animaux d'élevage, peut conduire à la dégradation de la végétation et du sol, surtout dans les zones où l'équilibre écologique est précaire comme c'est le cas de l'ensemble des pays du Sahel favorisant ainsi la désertification. Par ailleurs, le développement, au cours des dernières décennies, d'importants dispositifs d'irrigation en zones sahariennes augmente les risques économiques des invasions. (Duranton *et al.*, 1981; Lecoq, 2003). En effet, Ould El Hadj (2002) rapporte que dans le Sud algérien le développement de la céréaliculture irriguée sous pivot a permis aux individus autochtones de *S. gregaria* de trouver des conditions de développement et de pullulation. Au cours de l'invasion que l'Algérie a connue en 2004 et en 2005, les traitements contre le criquet pèlerin ont touché une superficie de 4.576.906 ha (Lazare, 2011). Les études économiques effectuées, après les invasions, ne prennent malheureusement pas en compte les pertes supportées par les pâturages, les risques sur l'économie locale et les perturbations sociales (Joffe, 1998; Roy, 2001). Les opérations de lutte chimique à grande échelle, nécessitent entre autres la mobilisation de fonds importants à engager par les zones touchées par les invasions. Ces zones concernent souvent des écosystèmes fragiles (Peveling, 2001).

La dernière invasion de 2003 - 2005 a lourdement pesé sur les ressources agro-pastorales des pays dont vivent plus de 60 % de la population.

Brader *et al.* (2006) ont estimé le coût de cette invasion à plus de 350 millions de dollar américain. Plusieurs facteurs écologiques des criquets sont testés depuis plus de vingt ans à travers plusieurs applications pour tenter de prévenir ce fléau (Hielkema, 1991). En Algérie, il existe de nombreux acridiens, locustes et sautériaux dont les dégâts sont parfois très importants sur les cultures (Doumandji-Mitiche et Doumandji, 1994). En effet trois espèces grégariaptés sont à redouter *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria cinerescens* (Fabricius, 1781) et *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Doumandji-Mitiche *et al.*, 1993; Ould El Hadj, 2011). Les conditions éco-climatiques du Sahara, confèrent à cette région géographique non seulement un habitat permanent favorable au maintien, au développement et à la reproduction mais aussi une zone de transition et de dispersion pour les locustes, en période de rémission ou en période d'invasion (Popov *et al.*, 1991). La sauterelle pèlerine *Schistocerca gregaria* se trouve pratiquement dans tout le Sahara Algérien.

En phase de rémission, les populations de cet acridien sont dispersées dans les aires grégariennes du Sahara algérien. Ces aires se trouvent dans la partie méridionale du Sahara, notamment dans les régions frontalières avec le Mali et le Niger, dans la partie centrale du Sahara, à Ahnet et Mouydir, et au niveau des zones d'épandage des eaux de pluies du versant est-nord-est du plateau de Tademaït et du versant septentrional du Tassili N'Ajjers (Lazare, 2011). Les biotopes de grégariation représentés par les zones d'épandage caractérisent les sols alluvionnaires du Sahara central et méridional (Sitouh, 1976; Guendouz-Benrima *et al.*, 2002) qui permettent des reproductions régulières, susceptible d'engendrer certaines années des phénomènes de transformations phasaire (Guendouz-Benrima *et al.*, 2011). En effet *S. gregaria* a la capacité de se présenter sous deux phases extrêmes, solitaire lorsqu'elle vit dispersée, ou grégaire si elle vit groupée. La phase *transiens* représente l'intermédiaire entre les deux. Le facteur déclenchant la transformation phasaire est la densité. Cependant d'autres facteurs semblent intervenir dans l'expression du polymorphisme phasaire telles que la photopériode, la température, la sécheresse, la teneur en gaz carbonique et la salinité du sol (Appert et Deuse, 1982). Des travaux récents ont démontré que les mécanismes neuronaux et sensoriels sont très impliqués dans la transformation phasaire (Chen *et al.*, 2010 ; Ma *et al.*, 2011). La qualité alimentaire et la distribution des ressources agissent également sur le comportement et l'état de phase du Criquet pèlerin (Lecoq, 2012). Cette diversité de facteurs responsables du processus de transformation phasaire rend difficile son étude sur le terrain.



Cela nécessite des travaux impliquant des équipes pluridisciplinaires regroupant, entre autres, des climatologues, des écologistes, des pédologues et des entomologistes. Néanmoins cela n'exclut pas la prise en considération de facteurs prédominants tels que la pluviométrie et les températures qui peuvent contribuer à élucider ce phénomène de grégarisation.

D'autre part l'immensité du territoire du Sahara algérien, rend difficile la couverture sur le terrain de vastes étendues. De ce fait la nécessité de recourir à la délimitation spatiale par télédétection, s'impose. Cette délimitation concernant des unités homogènes sur le plan morpho-pédologique et de la végétation permet d'identifier les biotopes naturels susceptibles d'être des foyers de grégarisation du Criquet pèlerin. En effet actuellement des moyens d'observation de la terre, telle que la télédétection, permettent de suivre avec précision l'état de la surface et les conditions éco-météorologiques. L'imagerie satellitaire permet ainsi une étude à large échelle et offre une haute répétitivité temporelle, indispensable lorsque l'observateur s'intéresse aux végétaux (Zhang *et al.*, 2004; Soudani *et al.*, 2008). La stratégie actuelle de lutte préventive 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. Seuls des moyens satellitaires peuvent fournir des possibilités de surveillance de l'ensemble des zones concernées, en particulier pour les deux paramètres clés que sont la pluviométrie et le développement de la végétation (Lazare, 2011). Quant aux méthodes actuelles de lutte curative, elles sont exclusivement basées sur l'usage des produits insecticides liquides dont les matières actives appartiennent aux familles des organophosphorés, des pyréthrinoides et des carbamates de synthèse. Ces préparations chimiques se sont révélées à la fois efficaces sur le Criquet mais aussi néfastes sur de nombreuses autres espèces animales du biotope (Barbouche *et al.*, 2001). La mise au point d'une stratégie de lutte rationnelle est plus que nécessaire (Doumandji *et al.*, 2005). En effet plusieurs nouvelles voies se sont ouvertes telles que l'utilisation des bactéries, des champignons entomopathogènes, des dérégulateurs de croissance et des extraits de plantes (Doumandji-Mitiche et Doumandji, 2008; Outtar *et al.*, 2011; Bissaad *et al.*, 2012). Cependant les ravageurs des cultures développent une résistance non seulement vis-à-vis des insecticides de synthèse mais aussi des insecticides naturels tels que les pyrèthres et les roténones, d'où la nécessité de rechercher des plantes insecticides plus efficaces et respectueuses de l'environnement (Georges *et al.*, 2006).

Plusieurs travaux, menés au laboratoire, se sont intéressés aux effets des extraits de plantes sur les populations de *S. gregaria*. En effet diverses familles végétales sont connues pour leur pouvoir acridifuge ou acridicide, dont les plus citées sont les Meliaceae, les Rutaceae, les Asteraceae et les Zygophyllaceae. Elles possèdent des substances naturelles allélochimiques répulsives et /ou toxiques qui leur permettent de se prémunir contre les déprédations dues à ces insectes phytophages ( Idrissi Hassani et Hermas, 2008). Des biopesticides extraits de plantes dont *Azadirachta indica* A. Juss. sont également testés sur les population larvaires mais leurs efficacités doivent être évaluées sur la durée (Popp *et al.*, 2013).

Les principaux travaux réalisés sur *S. gregaria* à travers le monde ont porté notamment sur la taxonomie (Dirsh, 1965, Dirsh, 1974), sur la bio-écologie (Popov *et al.*, 1991; Popov, 1997; Lecoq, 2003, 2012; Abassi *et al.*, 2003) et la lutte biologique par l'utilisation des extraits de plantes (El Gammal *et al.*, 1988; Ammar *et al.*, 1995; Diop et Wilps, 1997; Barbouche *et al.*, 2001; Abbasi *et al.*, 2004, 2005; Ghoneim *et al.*, 2009; Idrissi Hassani et Hermas, 2008; Bagari *et al.*, 2013; Ghoneim, 2015). D'autres travaux ont portés sur la morphométrie et le phénomène de grégarisation (Pasquier, 1952; Dirsh, 1953; Simpson *et al.*, 2001; Bouaichi et Simpson, 2003; Chen *et al.*, 2010; Tanaka *et al.*, 2012). Et récemment, Tratalos et Cheke (2006) et Piou *et al.* (2013) ont abordé l'identification des biotopes et la lutte préventive par l'utilisation d'un indice de végétation spatio-temporelle (NDVI) obtenu par la télédétection. En Algérie plusieurs travaux ont eu lieu abordant notamment les aspects liés à la bio-écologie (Chara, 1995; Doumandji-Mitiche *et al.*, 2014), à la caractérisation et à la biogéographie des biotopes dans le Sud algérien (Sitouh, 1996; Gendouz-Benrima *et al.*, 2002, 2007), à l'étude de la morphométrie des populations (Boughdad, 1991; Doumandji-Mitiche *et al.*, 1996; Bensaad et Doumandji-Mitiche, 2014 ) et à la lutte biologique par l'utilisation d'extraits de plantes et des entomopathogènes (Doumandji-Mitiche *et al.*, 1999; Ould El Hadj *et al.*, 2006; Kara et Doumandji-Mitiche, 2006; Kemassi *et al.*, 2010, 2012; Bissaad *et al.*, 2012; Harizia et Doumadji, 2014; Haddadj *et al.*, 2014). Cependant aucun travail n'a été mené sur le processus de grégarisation dans les conditions naturelles et sur l'utilisation de la télédétection pour l'identification des foyers potentiels de grégarisation de *S. gregaria* au Sahara algérien.

Ainsi afin de contribuer à une meilleure connaissance du comportement de la sauterelle pèlerine dans son aire de rémission, il est abordé dans la présente étude le processus de grégarisation en phase de rémission dans le Sahara algérien en insistant sur les facteurs écologiques intervenant dans la transformation phasaire notamment la pluviométrie et les températures ainsi que la structure de la végétation . Le présent travail cherche à montrer que ces deux facteurs climatiques sont prépondérants au Sahara ainsi que la restriction des surfaces végétales naturelles influencent le phénomène de grégarisation. Dans cette étude, il est démontré que l'usage de la télédétection spatiale à haute résolution est un outil très indispensable permettant d'identifier les biotopes favorables à la grégarisation de *S. gregaria*. Aussi, il est question de montrer que l'huile essentielle des feuilles de *Nerium oleander* L. (Apocynaceae) a une activité insecticide sur les larves L5 de *S. gregaria* dans des conditions de laboratoire.

Dans le premier chapitre, les aspects biologiques et écologiques de la Sauterelle pèlerine sont abordés, en insistant sur les étapes et les facteurs impliqués dans le processus de grégarisation. Les principales caractéristiques de la région d'étude, le Sahara algérien, sont présentées dans le second chapitre.

Dans un troisième chapitre la méthodologie appliquée pour l'étude du processus de grégarisation, de l'identification des foyers de grégarisation potentiels et de la lutte biologique est exposée. Les résultats obtenus et leur discussion sont traités respectivement dans le quatrième et le cinquième chapitre. Cette étude se termine par une conclusion générale en une synthèse des résultats et des perspectives de recherche.

## Chapitre I - Caractéristiques du modèle biologique: *Schistocerca gregaria*

Plusieurs aspects sont exposés pour ce qui concerne le Criquet pèlerin, d'abord sa position taxonomique, son polymorphisme phasaire, puis la typologie des biotopes qu'il fréquente au Sahara algérien et son aire d'habitat. Il est ensuite question de son cycle biologique par rapport aux facteurs abiotiques et de son régime alimentaire. Enfin brièvement, un accent est mis sur les plantes toxiques à l'égard du Criquet pèlerin.

### 1.1. - Position taxonomique

*Schistocerca gregaria* appartient à la famille des Acrididae, à la sous-famille des Cyrtacanthacridinae et se présente en deux sous-espèces, l'une nominative, la plus connue *Schistocerca gregaria gregaria* (Forskål, 1775) et l'autre, *Schistocerca gregaria flaviventris* (Burmeister, 1838), plus modestement répartie en Afrique du Sud-Ouest (Latchininsky et Launois-Luong, 1997). La deuxième sous-espèce citée est de moindre importance économique même si des pullulations ont pu être observées par le passé. Le criquet pèlerin, *S. gregaria* est un acridien de grande taille. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm de long, les mâles de 60 à 75 mm (Duranton et Lecoq, 1990). Il est considéré comme étant l'espèce la plus grégariapte (Fig. 1) (Pasquier, 1952).

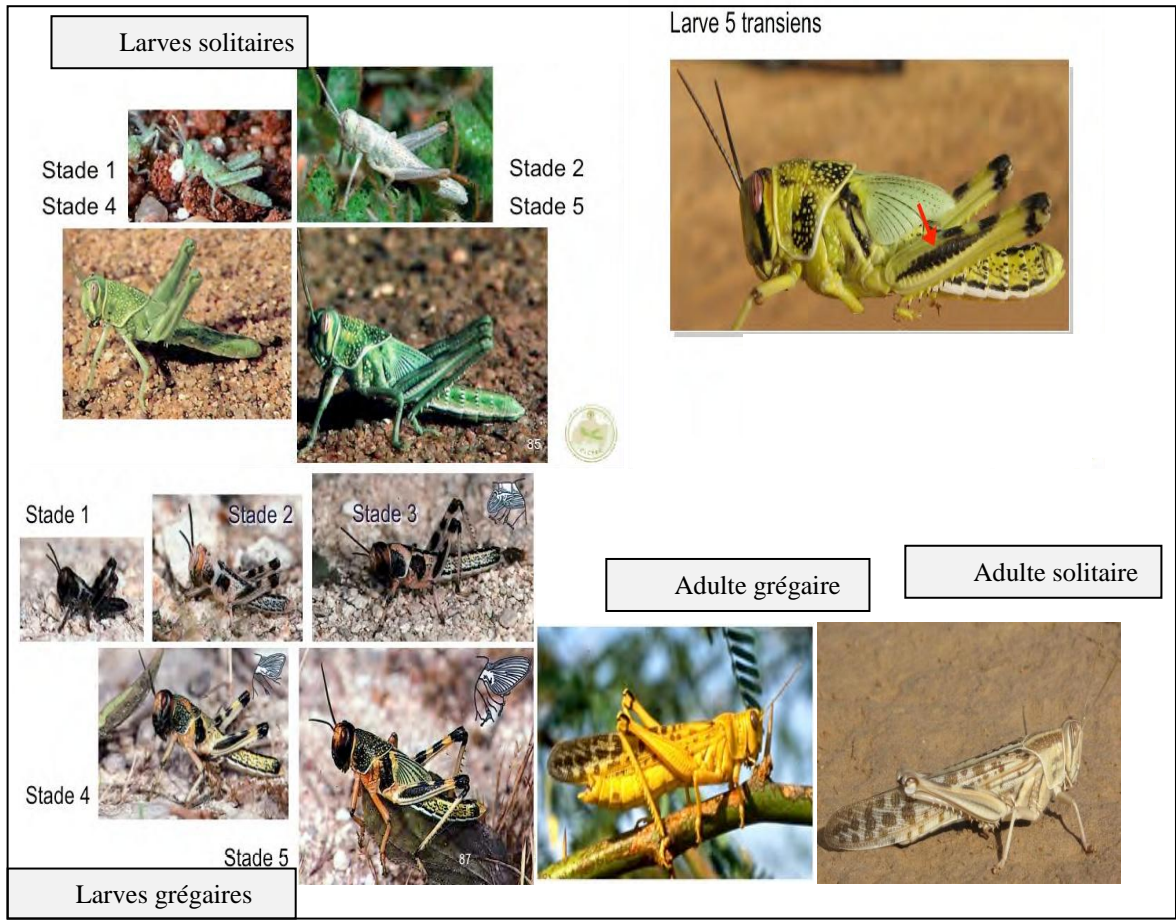
### 1.2. - Polymorphisme phasaire chez la Sauterelle pèlerine

Le criquet pèlerin connaît un phénomène de polymorphisme phasaire (Uvarov, 1966). Il a la capacité de se présenter sous deux phases extrêmes, solitaire lorsqu'il vit dispersé, ou grégaire s'il vit groupé. Les phases transiens sont intermédiaires entre les deux. Le facteur déclenchant la transformation phasaire est la densité (Launois-Luong et Lecoq, 1989). Les deux phases sont caractérisées par des changements de comportement, de couleur, de physiologie, de morphométrie, d'anatomie et d'écologie (Fig. 2) (Duranton et Lecoq, 1990). En fonction des stades de développement, les seuils de densité de transformation phasaire sont les suivants, soit 50.000 individus/ha ( $5/m^2$ ) lorsqu'il s'agit de larves des jeunes stades, ou 5.000 individus/ha ( $0,5/m^2$ ) dans le cas de larves âgées, ou encore 500 imagos ou adultes/ha ( $0,025-0,05/m^2$ ). Lecoq (2012) précise à ce sujet que les seuils de transformation phasaire cités correspondent à des ordres de grandeur donnés à titre indicatif.

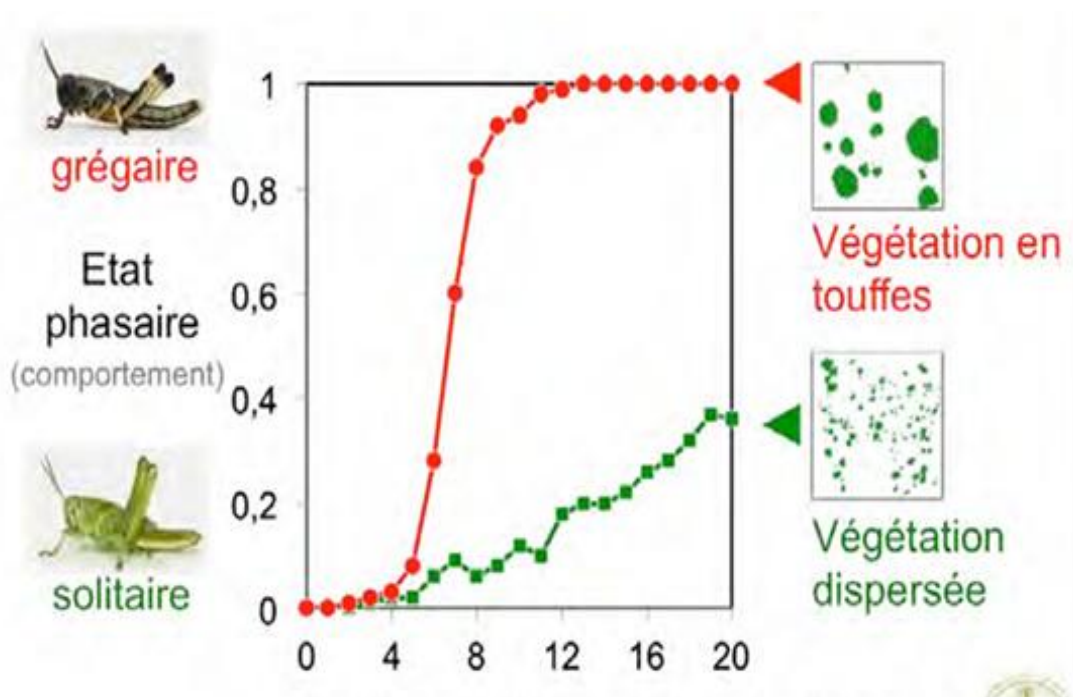
Des études complémentaires sont encore nécessaires pour préciser ce seuil en particulier en fonction du couvert végétal. Par ailleurs, ce seuil est susceptible d'être modifié en fonction de la structure du tapis végétal, selon qu'il soit homogène ou qu'il soit en touffes (Fig. 3) (Duranton et Lecoq, 1990; Symmons et Cressman, 2001). Les phénomènes de restriction de surfaces habitables provoquent une densation (Duranton et Lecoq, 1990). En plus de l'effet de densation d'autres facteurs semblent intervenir dans l'expression du polymorphisme phasaire tels que la photopériode, la température, la sécheresse, la teneur en gaz carbonique et la salinité du sol (Appert et Deuse, 1982). La concentration des imagos solitaires sur des aires réduites est la conséquence du dessèchement progressif des biotopes de *S. gregaria*. Lorsque les imagos solitaires trouvent des conditions éco-météorologique favorables, ils acquièrent la maturité sexuelle et les femelles pondent. Les larves nouvelles-nées, après éclosion, en étant regroupées en population dense, sont pré-adaptées à vivre en groupe et auront déjà certaines caractéristiques de la phase grégaire. Un essaim se forme à partir d'une bande larvaire dont les individus viennent d'effectuer leur mue imaginale. Il est dit primitif lorsqu'il est formé d'individus nés de parents solitaires, alors qu'il est qualifié d'essaim secondaire si les parents étaient déjà grégaires (Duranton et Lecoq, 1990). Des travaux récents ont mis en évidence que les mécanismes neuronaux et sensoriels sont très impliqués dans la transformation phasaire (Chen *et al.*, 2010 ; Ma *et al.*, 2011). La qualité alimentaire et la distribution des ressources agissent également sur le comportement et l'état de phase du criquet pèlerin. La capacité à concentrer les criquets varie considérablement selon les habitats. Une végétation en touffes, associée à la présence de quelques zones de sol nu humide pour la ponte, va ainsi aider à rassembler les criquets et favoriser la grégarisation (Lecoq, 2012). En Algérie certains sites permettent des reproductions régulières, susceptible d'engendrer certaines années des phénomènes de transformations phasaire (Guendouz-Benrima *et al.*, 2011). Depuis les années 1980 et avec le développement de l'agriculture saharienne, les cultures sur pivots constituent des foyers de reproduction et de grégarisation du Criquet pèlerin, hors les zones habituelles (Popov, 1997), comme c'est le cas à Adrar qui peut être une source permanente d'effectifs de criquets pèlerins pour les Hauts plateaux et une partie du Sahara centrale (Ould el Hadj, 2002). Toutefois le passage de la phase solitaire à la phase grégaire demande en général plusieurs générations successives, 4 au minimum, au cours desquelles les conditions favorisant la transformation phasaire se maintiennent. Des observations récentes lors de la dernière invasion de 2003-2004 laissent cependant penser que le phénomène pourrait parfois être plus rapide (Lecoq, 2012).



**Figure 1** - Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*



**Figure 2** - Individus solitaires et grégaires de *Schistocerca gregaria* (Lecoq, 2012)



**Figure 3** - Action de la densité de végétation sur le polymorphisme phasaire (Lecoq, 2012)

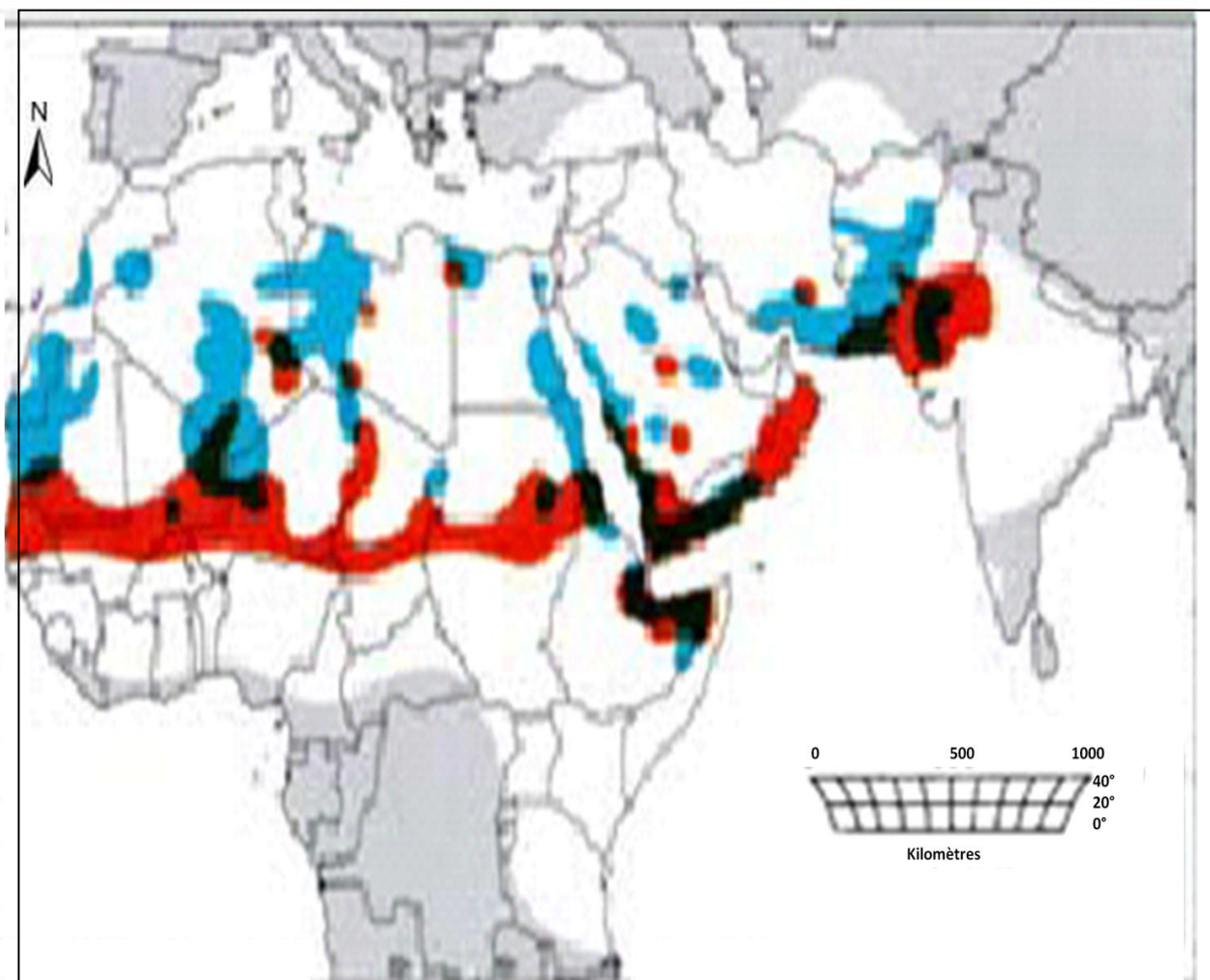
### **1.3. - Biotopes du Criquet pèlerin**

Chaque espèce de criquet manifeste un choix dans ses biotopes pour satisfaire ses besoins relationnels, nutritionnels et reproducteurs (Duranton *et al.*, 1982). Selon Duranton et Lecoq (1990) un biotope à criquets pèlerins peut être défini comme une unité territoriale écologiquement homogène susceptible d'offrir des conditions assez favorables au développement des populations de cet acridien, ce qui implique que les biotopes soient spatialement et temporellement délimités. Les milieux peuvent se répartir en quatre catégories en fonction de leurs potentialités lorsque les conditions écométéorologiques sont les plus favorables. Ce sont les milieux hostiles où il ne peut survivre, les biotopes de survie où le Criquet pèlerin peut subsister en attendant l'apparition de meilleures conditions, les biotopes de reproduction où le Criquet pèlerin peut non seulement survivre mais trouver une alimentation et une nature du sol qui lui permettent d'effectuer sa maturation sexuelle, une production d'oeufs suffisante et pondre et les biotopes de grégarisation qui offrent de bonnes conditions de reproduction susceptibles d'aboutir directement ou indirectement à des densités pouvant entraîner la transformation phasaire. Dans le Sud algérien, les biotopes non attractifs pour le criquet pèlerin sont colonisés par des synusies qui appartiennent aux groupements situés dans le Sahara septentrional. Les biotopes de survie constitués par les plateaux gravillonnaires du Sahara sont colonisés durant les périodes de recrudescence et d'invasion. Les biotopes de multiplication favorisant la reproduction correspondent aux zones d'écoulement et d'accumulation des eaux de pluies des plateaux sahariens et les milieux du Sahara central. Enfin les biotopes de grégarisation représentés par les zones d'épandage caractérisent les sols alluvionnaires du Sahara central et méridional (Sitouh, 1976; Guendouz-Benrima *et al.*, 2002).

### **1.4. -Aire d'habitat**

En phase de rémission, les populations solitaires de *S. gregaria* ne sont présentes qu'en effectifs très faibles et sont limitées à une zone géographique restreinte, essentiellement en zones désertiques et loin des cultures. Cette aire couvre 16 millions de km<sup>2</sup> et concerne surtout la zone saharienne (Fig. 4) (Lecoq, 2004). Quant à l'aire d'invasion, elle occupe une vaste zone de 29 millions de km<sup>2</sup>, soit 20 % des terres émergées. De très nombreuses régions du globe sont concernées par les invasions du Criquet pèlerin (Duranton et Lecoq, 1990).





**Figure 4** - Zones de reproduction de criquet pèlerin en période de rémission (Copr, 1981). ● Zones de reproduction hivernale et printanière. ● Zones de reproduction estivale.

## 1.5. - Cycle biologique

Le Criquet pèlerin développe annuellement 2 à 3 générations selon les conditions écologiques. En phase solitaire, il reste inféodé aux zones dont la pluviosité annuelle est inférieure à 200 mm. Et en phase grégaire, il se reproduit dans les zones où la pluviosité annuelle ne dépasse pas 500 à 600 mm (Duranton et Lecoq 1990). Les durées exprimées en jours des principales étapes du cycle biologique en fonction des états phasaires et des conditions écologiques sont présentées dans le tableau 1.

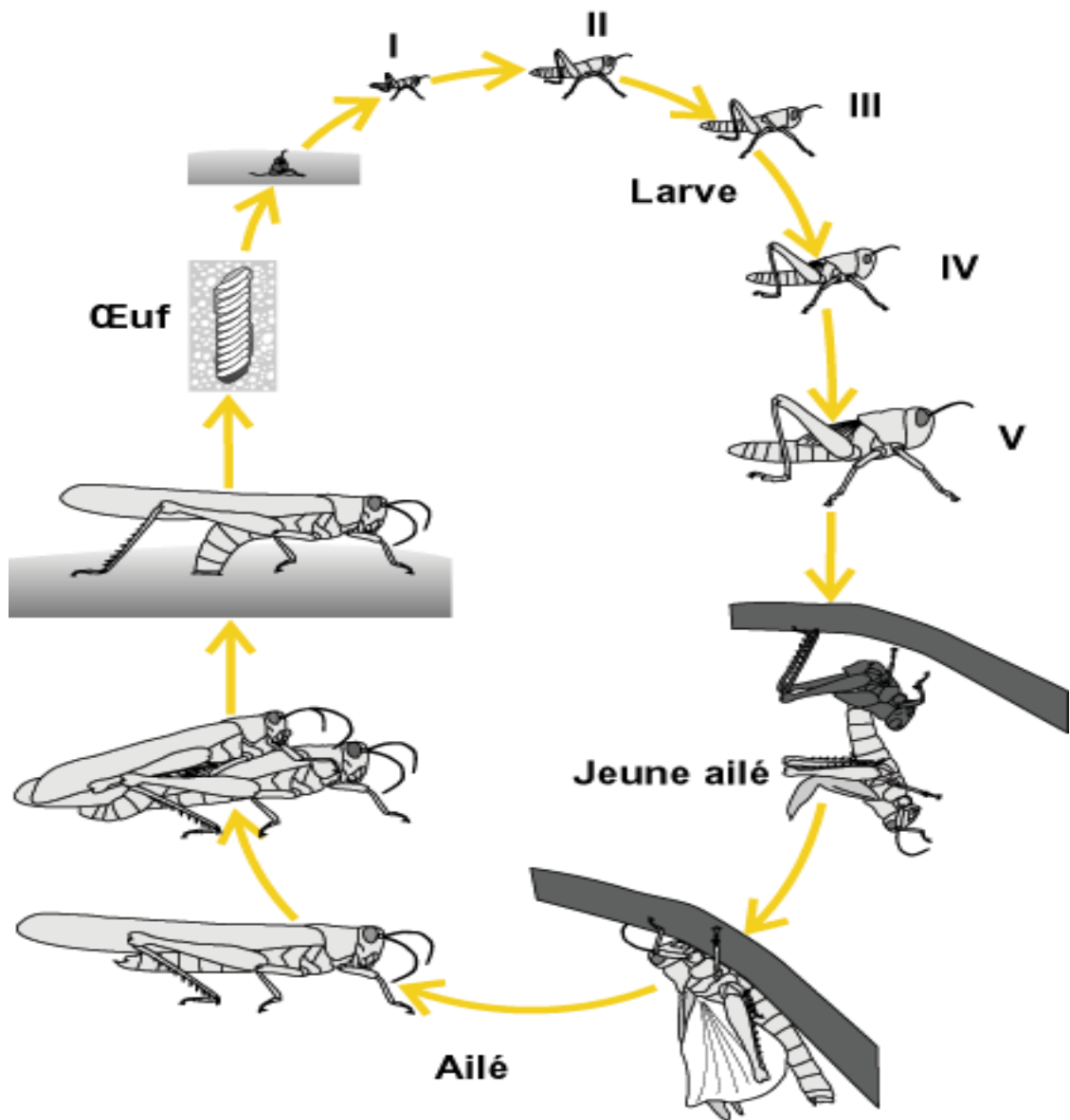
**Tableau 1** - Durées en jours des principales étapes du cycle biologique de *S. gregaria* en fonction

des états phasaires et des conditions écologiques (Popov, 1989)

Stades	Œuf	Larve	Imago					G (jours)
			D	PV	V	R	Ig	
Etat phasaire et conditions écologique	O	L	D	PV	V	R	Ig	
<b>Solitaires</b>								
Conditions favorables	12	30	6	4	6	6	34	58
Conditions défavorables	65	90	10	135	10	25	180	310
<b>Grégaires</b>								
Conditions favorables	10	25	6	3	6	6	34	50
Conditions défavorables	80	52	10	180	10	30	230	310

**O** : œuf ; **L**:larve ; **D**: Durcissement cuticulaire chez l'imago ; **PV**: Phase de pré – vitellogénèse ; **V**: Vitellogénèse ; **R**: Rythme de ponte ; **Ig** : Longévité de l'imago ; **G**: Durée totale d'une génération.

Le cycle biologique en conditions favorables dure moins de 60 jours (Tab. 1; Fig. 5). Par contre, en conditions défavorables il s'étale sur 310 jours avec la possibilité de quiescence à l'état imaginal qui peut durer 135 jours chez les solitaires et 180 jours chez les grégaires (Launois-Luong et Lecoq, 1989). Dans le Sahara algérien le Criquet pèlerin développe 2 générations, l'une estivale dans l'aire méridionale et l'autre hiverno-printanière dans le Sahara central. Ces deux générations sont influencées par les pluies d'été pour la première et par les dépressions provenant du Nord et de l'Atlantique pour la seconde (Guendouz-Benrima *et al.*, 2011).



**Figure 5** - Cycle biologique du Criquet pèlerin (Symmons et Cressman, 2001)

### 1.6. - Action de quelques facteurs abiotiques sur *S. gregaria*

Le criquet pèlerin recherche un sol humide et sableux comme celui des oueds des zones arides et semi-arides des pourtours du Sahara (Duranton *et al.*, 1982). L'optimum thermique varie de 30,5 °C chez les larves à 39 °C chez les ailés sauf en période de ponte où il n'est que de 29,5 °C. Les températures supérieures à 50 °C sont mortelles pour les populations de criquets. La durée du développement larvaire est d'autant plus courte que la température est élevée au sein de la fourchette 20°C à 35°C (Duranton *et al.*, 1982). Par ailleurs l'optimum pluviométrique du Criquet pèlerin se situe entre 25 et 50 mm d'eau par mois, ce qui est normalement suffisant (Duranton et Lecoq, 1990). L'eau est également vitale pour les larves et les ailés. Elle influe sur la végétation qui constitue la quasi-totalité de l'alimentation des criquets (Doumandji *et al.*, 2005).

### **1.7. - Régime alimentaire de *S. gregaria***

Lecoq (1991) précise que *S. gregaria* est une espèce polyphage qui engendre des dégâts sévères à une large gamme de cultures. Selon Stcherbinovsky (1952) près de 400 espèces végétales sont consommées par les larves et les ailés. Malgré sa polyphagie, le criquet pèlerin présente une prédilection marquée pour certaines plantes de familles botaniques différentes, comme les Poaceae, les Brassicaceae et les Fabaceae (Doumandji et Doumandji Mitiche, 1994).

### **1.8. - Plantes toxiques vis a vis du Criquet pèlerin**

Plusieurs familles végétales sont connues pour leur pouvoir acridifuge ou acridicide parmi lesquelles les Meliaceae, les Rutaceae les Asteraceae et les Zygophyllaceae sont citées (Wilps *et al.*, 1992 ; Ammar *et al.*, 1995) . Ces plantes possèdent des substances naturelles allélochimiques répulsives et ou toxiques qui leurs permettent de se prémunir contre les attaques des insectes phytophages (Idrissi Hassani et Hermas, 2008). L'huile de graines du neem *Melia azedarach* L. est commercialisée en tant qu'insecticide (Ghoneim et Abdel-Ghaffar, 2007). En Algérie, l'effet acridifuge et acridicide des extraits de *Melia azedarach*, d'*Eucalyptus globulus* (Labill, 1800) et d'*Inula viscosa* L. sur les larves de *S. gregaria* est mis en évidence par Ould el Hadj *et al.* (2006) et Tail et Doumandji-Mitiche (2005).

En Tunisie, Barbouche *et al.* (2001) trouvent que l'extrait des feuilles de *Cestrum parqui* (L'Herit, 1788) (Solanaceae) injecté aux larves L<sub>5</sub> donne un taux de mortalité de 100 % au bout de 2 à 4 jours.

De leur côté Ammar *et al.* (1995) rapportent que les extraits aqueux de feuilles d'*Olea europaea* L. provoquent un effet anti-appétant. En Egypte *Fagonia bruguieri* DC. (Zygophyllaceae) exerce un effet sur le potentiel de survie, la croissance et le développement (El-Gammal *et al.*, 1988, Ghoneim *et al.*, 2009). Les ravageurs des culture développent une résistance non seulement vis-à-vis des insecticides de synthèse mais aussi des insecticides naturels telles que les pyrèthres et les roténones, d'où la nécessité de rechercher des plantes insecticides plus efficace et respectueuses de l'environnement (Georges *et al.*, 2006).

## **Chapitre II - Présentation de la région d'étude**

Il est question d'abord de la situation géographique, de l'hydrologie et de la géomorphologie de la zone d'étude puis des unités hydrographiques et des ressources en eau superficielles. Ensuite les principales caractéristiques climatiques sont abordées notamment la pluviométrie, les températures, le vent et l'humidité relative de l'air. Enfin un aperçu est donné sur la faune et la flore de la région d'étude.

### **2.1. - Principales caractéristiques du Sahara algérien**

La situation géographique du Sahara algérien est précisée, ainsi que son hydrographie, sa géomorphologie et les caractéristiques de ses sols. Puis il est question des unités hydrographiques et ressources en eau superficielles et enfin un accent est mis sur les caractéristiques générales du climat du Sahara.

#### **2.1.1. - Situation géographique**

L'Atlas saharien algérien, est une succession de massifs orientés du sud-ouest vers le nord-est et se rapprochant peu à peu, d'ouest en est, de l'Atlas Tellien. Après cette barrière montagneuse, une brusque dénivellation conduit dans le Sahara à quelques centaines de mètres d'altitude, parfois même au dessous du niveau de la mer (Dubief, 1953). Le Sahara s'étend sur 2 millions de km<sup>2</sup> et il constitue l'un des plus grands déserts du monde. Il couvre 85 % de la superficie de l'Algérie (Fig. 6). Il est subdivisé en Sahara septentrional, méridional, central et occidental (Dubief, 1952) (Fig. 7). La zone d'étude s'étend entre 20° et 30° de latitude Nord et 8° 11' Ouest à 9° 30' Est de longitude. En excluant la partie septentrionale du Sahara, l'aire d'étude couvre près de 1.116.000 km<sup>2</sup>.

#### **2.1.2. - Hydrographie, géomorphologie et sols**

Un aperçu est donné sur l'hydrologie, les caractéristiques géomorphologiques et les sols du Sahara.

#### 2.1.2.1. - Hydrologie

L'Algérie est subdivisée en 17 grands bassins versant dont les bassins Sahariens qui s'étendent sur une superficie avoisinant 100 000 km<sup>2</sup>. Les oueds ne coulent qu'en périodes pluvieuses (Dakiche, 2006). Ils n'ont pas un régime de crues régulier mais plutôt un caractère accidentel. Ce phénomène se produit jusqu'à trois fois par an dans le Nord du Sahara, beaucoup plus rarement au centre (Gardi, 1973).

#### 2.1.2.2. - Géomorphologie

Les principales familles de paysages sahariens sont les hamadas et les regs. Les hamadas sont des plateaux rocheux à topographie très monotone, souvent plate à perte de vue. Quant aux regs, ils sont constitués par des plaines de graviers et de fragments rocheux (Monod, 1992). Ils se localisent généralement dans de vastes régions ensablées (Lelubre, 1952). Selon Roux (1991) le Sahara est formé approximativement pour 15 % par des ergs, 15% par des formes de reliefs très diverses et 70 % par des regs. Les dépressions sont formées par des dayas (Ozenda, 1991), des sebkhas, des chotts et des lits d'oueds. Le Sahara est aussi composé par des oasis et de montagnes dont le Mont Hoggar qui culmine à 3000 mètres d'altitude. (Derruau, 1967; Monod, 1992).

#### 2.1.2.3. - Sols

Le sol au Sahara est à dominance sablo-limoneuse en présence de gypse. Il est exposé à l'érosion éolienne et généralement pauvre en matières organiques, assez profond et facile à travailler. Leur pH est neutre ou légèrement alcalin avec un taux de salinité variable. Les cultures pratiquées sont en général halotolérantes comme *Phoenix dactylifera* (Dubost, 2002). La qualité du sol est déterminante pour la ponte de *S. gregaria*. Elles préfèrent les sols sableux, sablo-limoneux, ou argilo-limoneux couverts de sable (Lecoq, 2012).

### 2.3. - Unités hydrographiques du Sahara et ressources en eau superficielles

Le Sahara est caractérisée par quatre unités hydrographiques (Fig. 8). Le chott Melhrir est l'un des grands bassins versants de l'Algérie. Il s'étale sur une superficie de 68.750 km<sup>2</sup>. Il se distingue par un important cours d'eau, qui est celui d'Oued Djedi qui s'étend sur 8 zones, celles de Biskra, de Tébessa, de Khenchela, de Laghouat, de Batna, de M'sila, de Djelfa et d'El Oued.

Dans le Sahara septentrional, le bassin du Bas-Sahara, couvre une superficie de 600.000 km<sup>2</sup> et couvre, entre autres, les zones d'Adrar, d'Ain Salah et d'Illizi.

Le bassin du Hoggar couvre une superficie de 556.100 km<sup>2</sup>. Enfin le bassin de Saoura et Tindouf, deux entités géographiques, situées au sud-ouest du pays se caractérisent généralement par des similitudes sur le milieu. La zone de la Saoura est située au sud-ouest du pays et couvre une superficie de 161.400 km<sup>2</sup> environ. Les ressources en eau au Sahara se distinguent par les eaux superficielles qui sont localisées dans les piedmonts de l'Atlas saharien et dans les zones du Hoggar et du Tassili. Les crues sont généralement rares et proviennent surtout du Grand Atlas marocain et du versant sud des Aurès (Dakiche, 2006). Quant aux ressources en eau souterraines, elles sont relativement importantes notamment au Sahara septentrional. Du fait que les précipitations sont non seulement rares, mais toujours très irrégulières, les conditions de l'écoulement y sont particulières. En effet, les oueds sahariens n'ont pas un régime de crues régulier mais plutôt de caractère accidentel (Chehema, 2011).

## **2.4. - Caractéristiques générales du Climat**

Les caractéristiques des stations météorologiques du Sahara pris en considération sont présentées. Les données climatiques sont également développées, d'abord la pluviométrie et les températures puis les vents et l'humidité relative de l'air.

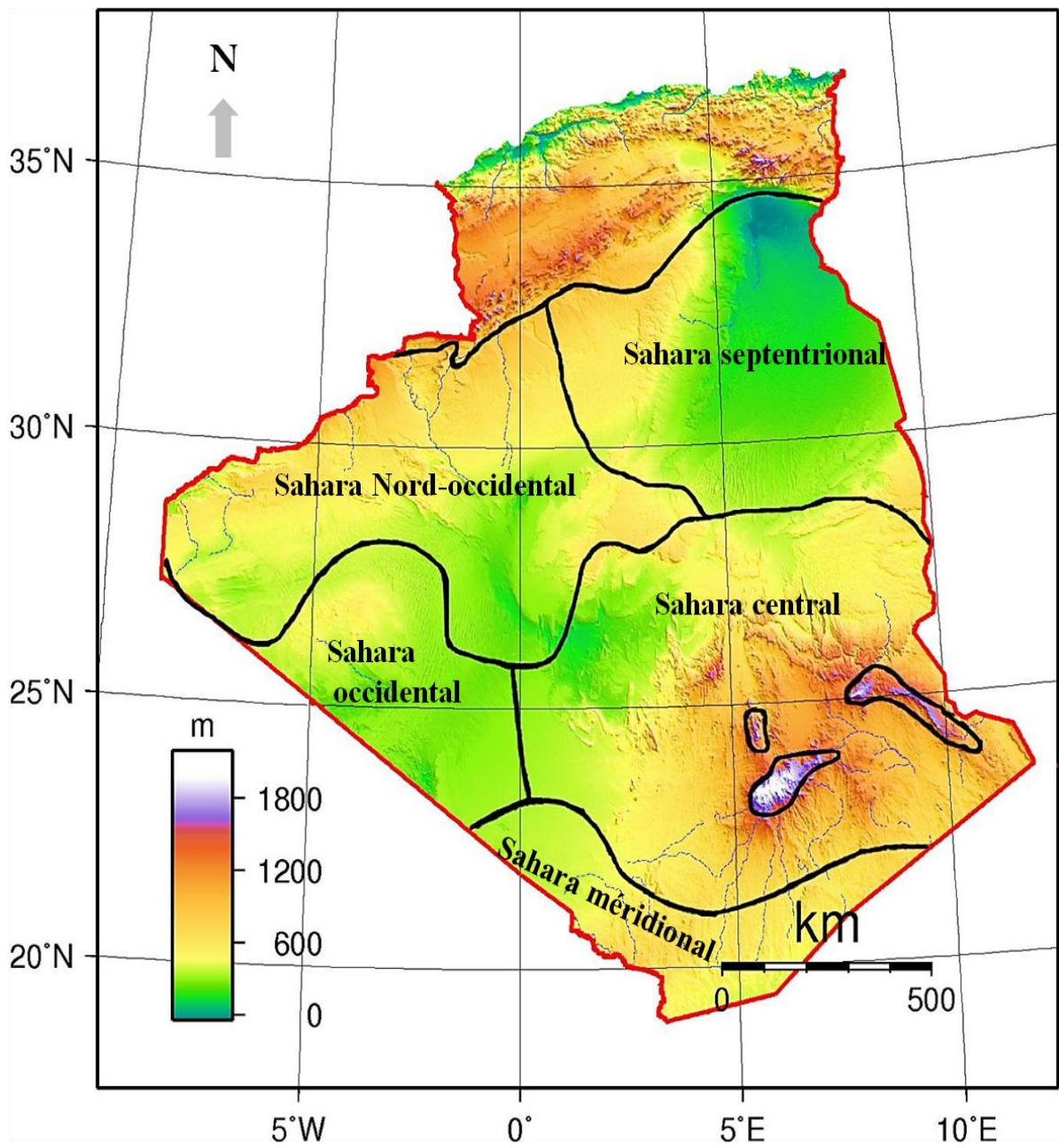
### **2.4.1. - Caractéristiques géographiques des stations météorologiques**

Le climat du Sahara algérien est caractérisé de fortes températures, une luminosité intense, une forte évaporation (Chehema, 2011) et par l'insuffisance de pluies accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité inter-annuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (Ozenda, 1991). La distribution des stations météorologiques est très hétérogène avec en particulier une grande dispersion au Sud. De plus les stations au Sahara ne sont pas toujours vraiment représentatives de la région car elles sont trop éloignées les unes des autres et généralement mal situées (Talia *et al.*, 2011). Cependant afin d'avoir quelques informations sur les caractéristiques climatiques de la région d'étude, 3 stations météorologiques sont prises en considération selon un gradient altitudinal croissant. Le tableau 2 suivant présente les caractéristiques géographiques des stations et les principales données climatiques moyennes annuelles pour la période 2007-2010.





**Figure 6** - Situation géographique du Sahara Algérien (Askri *et al.*, 1994)



**Figure 7** - Grandes subdivisions phytogéographiques du Sahara (Dubief, 1952, modifiée)

**Tableau 2-** Caractéristiques géographiques des stations météorologiques du Sahara

Parties du Sahara	Stations	Altitudes (m)	Latitudes	Longitudes
Centrale	Adrar	263	27° 88' N.	0° 28' O.
Occidentale	Béchar	773	31° 05' N.	2° 23' O.
Méridional	Tamanrasset	1377	22° 08' N.	5° 46' E.

L'altitude des stations varie entre 263 m et 1.377 m. La latitude, allant du nord vers le sud du Sahara, varie entre 22° et 31° N.

L'altitude et la latitude exercent une action prépondérante sur le climat d'une région. Suivant la latitude, le Sahara est divisé en trois secteurs, le Sahara septentrional sous influence méditerranéenne, le Sahara central sous influence à la fois méditerranéenne et tropicale et le Sahara méridional sous influence tropicale.

Le climat au Sahara est caractérisé également par un étagement altitudinal, d'abord l'étage érémiq ue inférieur des basses altitudes, dépourvu de végétaux annuelles, qui apparaissent en épandages sous la forme de végétation aléatoire pérenne, puis l'étage érémiq ue moyen à végétation contractée et enfin l'étage érémiq ue supérieur où se retrouvent notamment des espèces ligneuses (Quezel, 1965) (Fig. 9).

#### **2.4.2. - Pluviométrie**

Le Sahara est l'un des déserts les plus chauds et les plus arides du globe. Il se caractérise par des précipitations très peu abondantes et irrégulières entre 120 mm au Nord et 12 mm au Sud (Fig. 10). Le Sahara méridional a un rythme nettement tropical. Les pluies se produisent essentiellement en été, au moment où la température est la plus élevée (Barry *et al.*, 1976). Le Sahara central, suivant les années, est affecté tantôt par les conditions climatiques du Sahara septentrional avec des pluies liées essentiellement aux dépressions soudano-sahariennes, tantôt par celles du Sahara méridional, avec des pluies estivales liées à la remontée du Front Intertropical (Barry et Celles, 1972). L'examen des données sur les précipitations de la période 2007-2010 montre que les plus faibles chutes de pluie sont enregistrées durant la période estivale dans la partie nord -occidentale du Sahara.

Par contre les précipitations sont concentrées en été à Tamanrasset et se répartissent en été, en automne et au printemps à Adrar (Fig. 11) (Tab. 3, 4 et 5 en annexes). La comparaison de la pluviométrie par année montre une irrégularité d'une région à l'autre. Pour la région d'Adrar les années 2007 et 2010 sont relativement sèches. Le cumul pluviométrique du mois de janvier à décembre ne dépasse pas 10 mm pour les deux années. Mais, l'année 2008 fut la plus arrosée, mais irrégulière, avec 53.3 mm dont 78,5 % reçus au mois d'octobre. Pour ce qui est de la région de Béchar, les années 2007 et 2008 sont les plus arrosées, comparativement aux autres zones, avec respectivement 100.9 mm et 93.7 mm régulièrement répartis à travers les saisons. L'année 2010 (70.6 mm) fut la plus arrosée à Tamanrasset dont 96 % des précipitations sont enregistrées en été. Ainsi au Sahara la pluviométrie est non seulement faible mais aussi caractérisée par une répartition irrégulière saisonnière et annuelle.

La pluie est ainsi le facteur le plus important car elle crée, directement ou indirectement, un milieu favorable pour toutes les étapes de la reproduction de *S. gregaria* (Duraton et Lecoq, 1990).

### **2.4.3. - Températures**

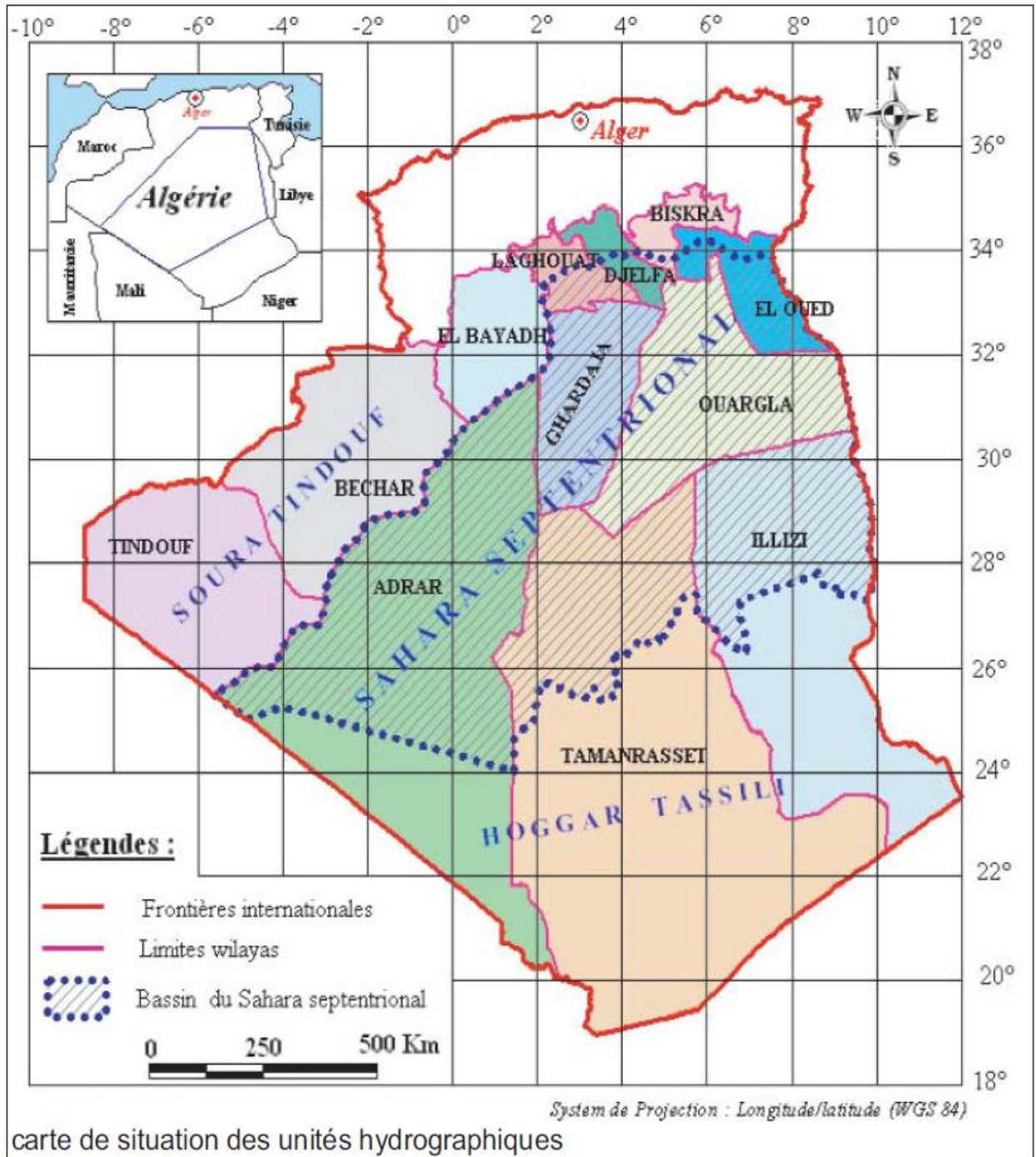
Les températures maximales peuvent dépasser 40 °C à partir du mois de juillet dans les zones de Béchar et d'Adrar alors qu'elles n'excèdent pas 36 °C à Tamanrasset qui est la plus élevée en altitude. Les températures minimales varient entre 2,7 °C et 4,9 °C dans le Sahara central et 4,9 °C dans la partie Nord-occidentale. Dans le Sahara, les températures moyennes les plus élevées sont enregistrées durant la période estivale s'étalant du mois de juin à septembre (Fig. 12 ; Tab 3 ,4 et 5 en annexes)). Juillet est le mois le plus chaud avec 37,8 °C et 36,7 °C respectivement au Sahara central et au Sahara occidental. Juin avec 29,9 °C est le plus chaud au Sahara méridional.

### **2.4.4. - Vents et humidité relative de l'air**

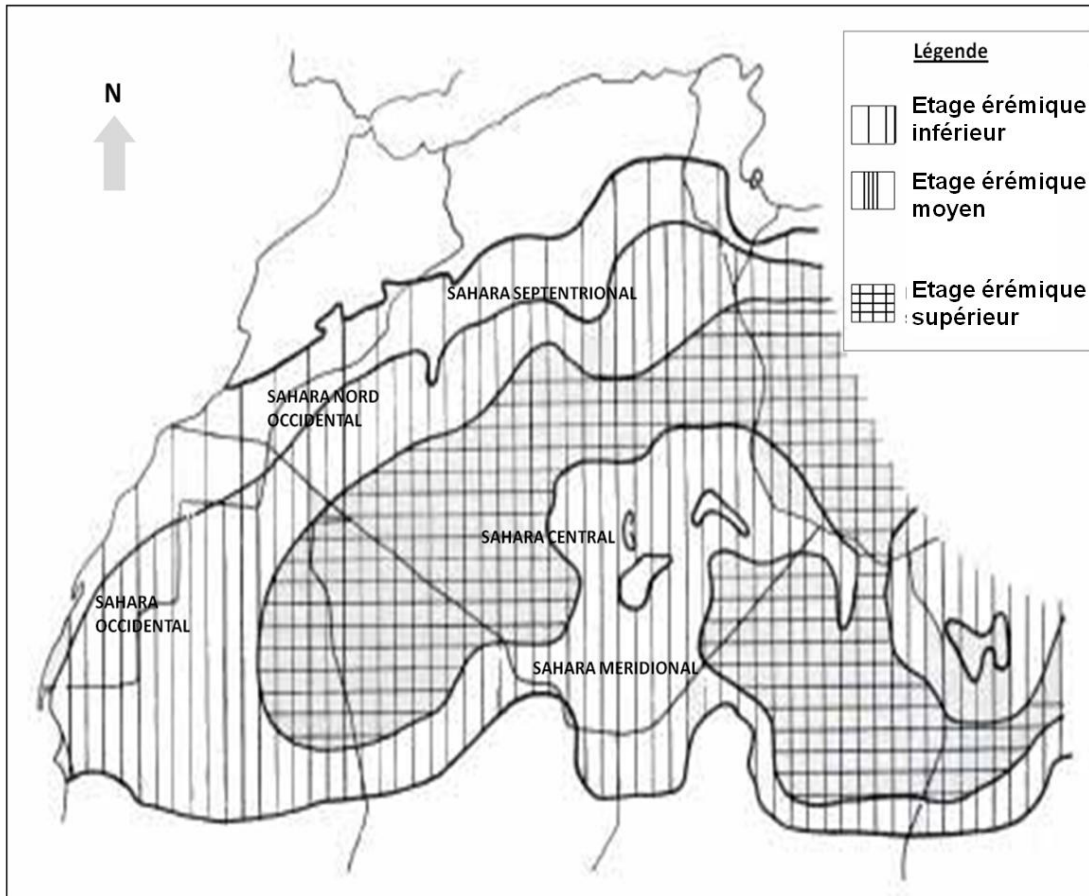
Au Sahara les vents sont relativement fréquents. Leur vitesse est importante d'avril à juillet, ce qui provoque pendant cette période le sirocco ou des vents de sable notamment durant les mois d'avril et de mai. La vitesse atteint alors 26 km/h à Adrar et 15 km/h seulement dans le reste du Sahara. En effet les fréquences les plus élevées sont enregistrées dans la région d'Adrar (Fig. 13). Avec une forte amplitude thermique, l'humidité relative de l'air au Sahara est faible.

Elle varie annuellement entre 23% dans le Sahara central et 30% dans le Sahara Nord-occidental. Durant la période automno-hivernale, le taux d'humidité atteint en moyenne 41,2 % à Bechar, 33,6 % à Adrar et seulement 21,9 % à Tamanrasset avec respectivement des taux d'humidité élevés aux mois de décembre avec 41,9 % et 38,9 % et septembre avec 26,5 %.

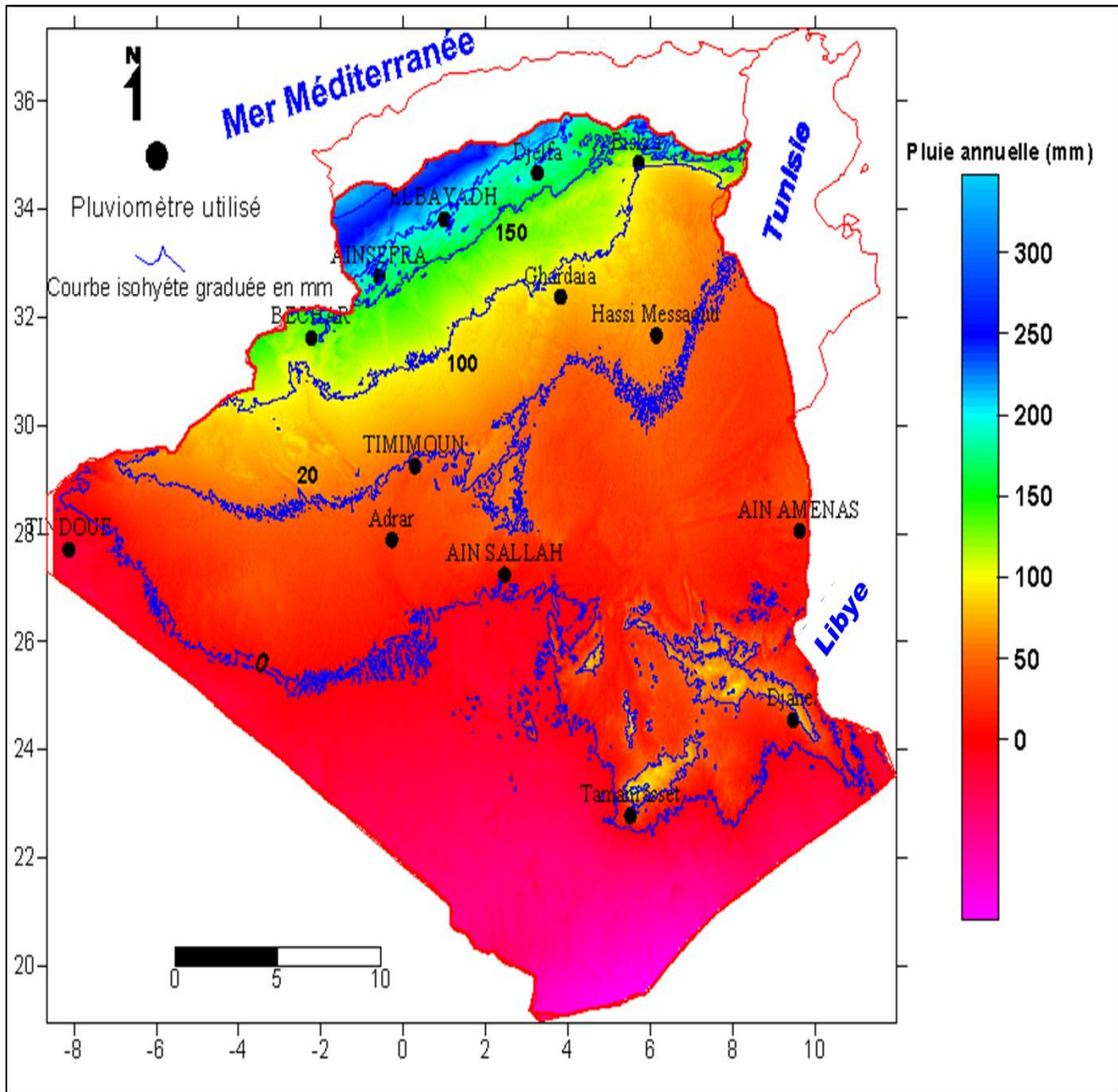
L'humidité influe sur la variation de la fécondité moyenne, sur la durée de la ponte et sur la durée de la diapause larvaire des acridiens (Fig. 14) (Tab.6 en annexes).



**Figure 8** - Unités hydrographiques du bassin saharien (Talia *et al.*, 2013)

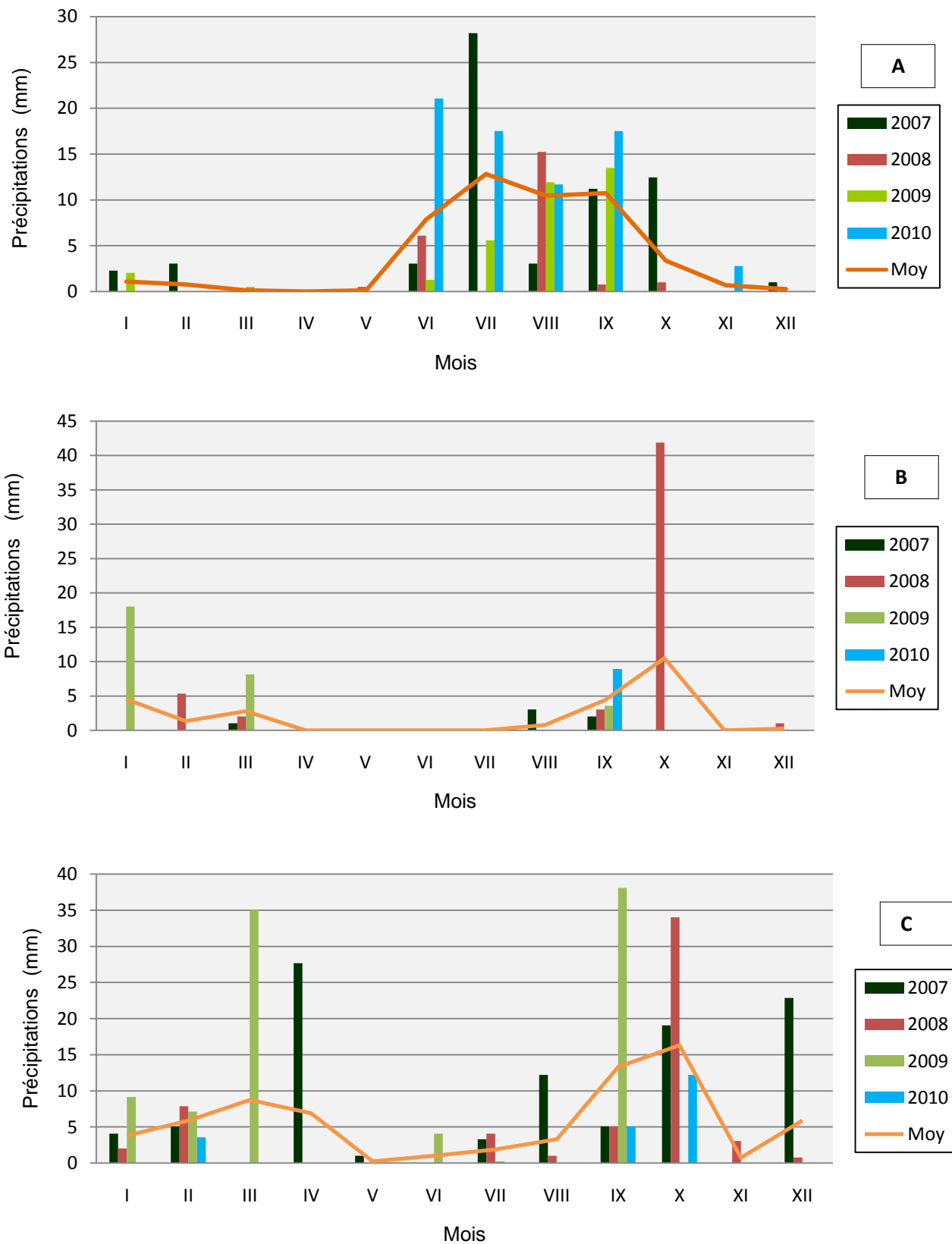


**Figure 9** - Etages bioclimatiques au Sahara (Quezel, 1965)

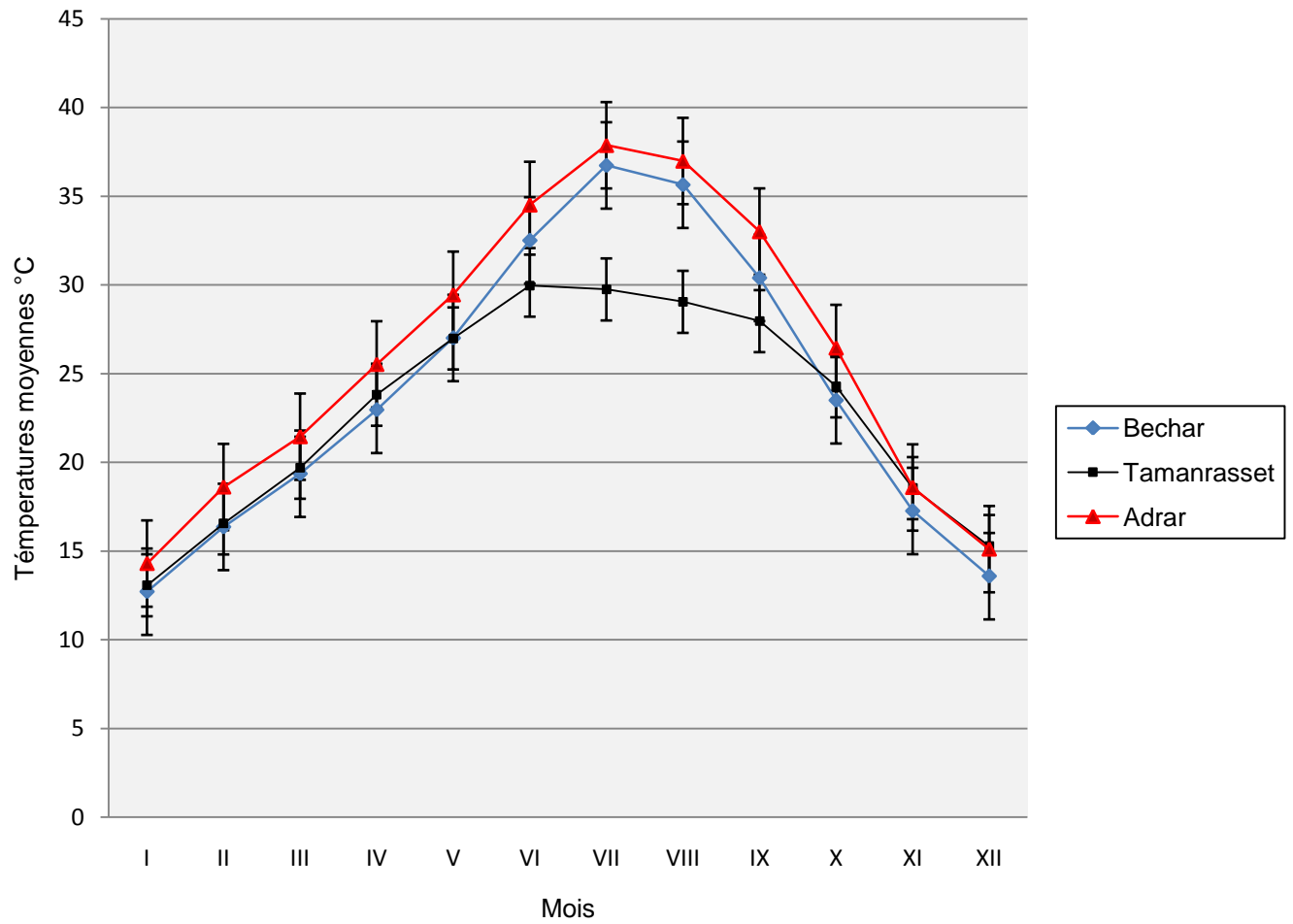


**Figure 10** - Carte des précipitations annuelles (1968-2000) (Talia *et al.*, 2013)



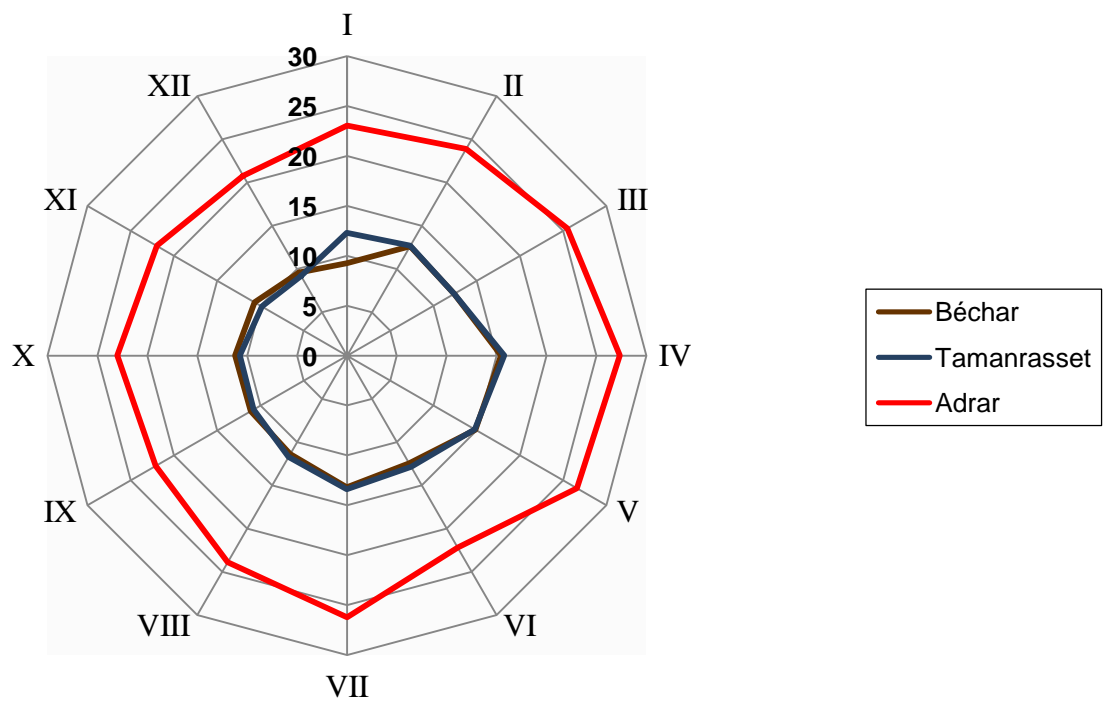


**Figure 11** - Variations de la pluviométrie annuelle et moyenne dans le Sahara. **A**-Tamanrasset **B**-Adrar. **C**- Béchar. Période 2007-2010

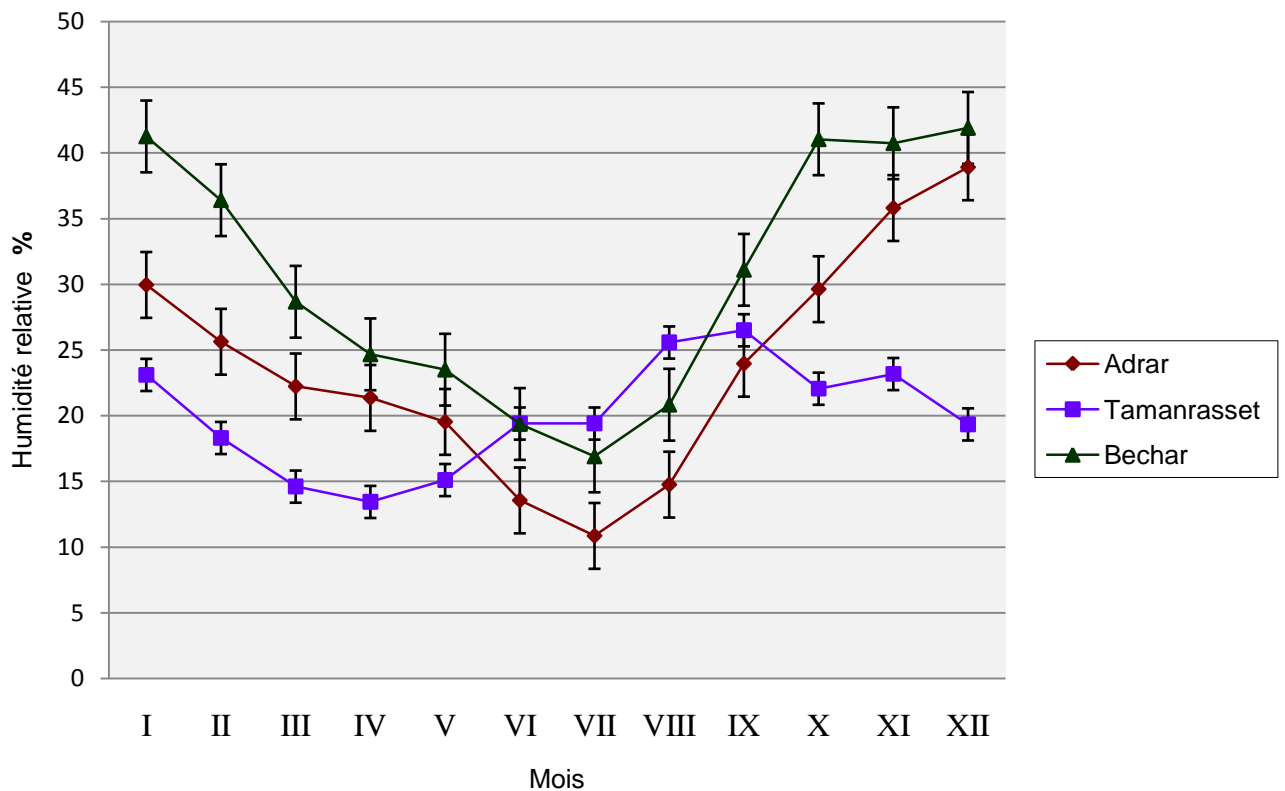


**Figure 12** -Variation mensuelle de la température moyenne dans le Sahara (2007-2010).

(Valeur moyenne + erreur standard)



**Figure 13 -** Vitesse moyenne mensuelle (km/h) du vent dans le Sahara (2007-2010)



**Figure 14 -** Variabilité moyenne mensuelle de l'humidité relative (%) de l'air dans le Sahara (2007-2007). (Valeur moyenne + erreur standard)

## 2.5. - Flore et faune

La flore du Sahara regroupe environ 500 taxons de plantes supérieures dont une partie est utilisée par les autochtones comme plantes médicinales (Ozenda, 1983). Au Sahara, il existe deux types de végétations, les végétations temporaires et les végétations permanentes. L'acheb ensemble de plantes annuelles éphémères, qui apparaissent après une pluie, est constitué par des végétaux doués d'une faculté de croissance rapide et dont la période végétative, très brève, ne dure pas plus de trois à quatre semaines. La flore du Sahara Nord-occidental est dominée par le type phytogéographique Saharo-Sindien (Lemee, 1953). Les familles les plus représentées sont les Asteraceae suivies dans des proportions égales par les Brassicaceae, les Chenopodiaceae, les Fabaceae et les Poaceae (Benhouhou et Benghanem, 2013). La plus grande partie des espèces végétales au Sahara septentrional et central en particulier est constitué par des plantes adaptées à la vie dans les déserts tempérés et chauds de l'ancien monde. Ces espèces dites érémiques sont en général répandues depuis la Mauritanie jusqu'au Sind, d'où le nom de saharo-sindiennes qui leur est donné. Elles représentent plus de 70 % de la population végétale du Sahara Nord et plus de 50 % de celle du Hoggar. Par contre au Sahara méridional, il apparaît un fort contingent d'espèces de la zone sahélienne avec en premier lieu les Acacia qui se localisent dans les lits d'oueds (Bisson, 2003).

Cet élément sahélo-saharien représente 20% de la population végétale du Hoggar (Quezel, 1960). Dans le massif du Hoggar, au-dessus de 1500 m. d'altitude, des plantes d'origines biogéographiques diverses, avec en particulier des espèces d'affinité méditerranéenne tels que le laurier-rose *Nerium oleander* L, l'olivier *Olea laperrini* Batt. et *Trab.*, le cyprès *Cupressus dupreziana* (Camus, 1926) et l'armoise *Artemisia herba alba* (Asso, 1779) sur les regs coexistent (Migliore *et al.*, 2013). Entre 1300 et 1 800 m l'élément saharo-sindien est prédominant. Au pied du massif, entre 900 et 1 300 m, les espèces tropicales sahéliennes sont relativement abondantes (Quezel, 1954). Suivant les biotopes, les dayas et les ergs sont caractérisés par une grande pauvreté floristique alors que les sols rocheux, les regs et les lits d'oued contiennent les groupements végétaux les plus diversifiés (Dubief, 1953; Bouallala et Chehma, 2011 ; Benhouhou et Benghanem, 2013; Bouallala et Chehma, 2014). L'agriculture oasienne repose essentiellement sur la plantation du palmier dattier, à laquelle sont associées d'autres cultures arboricoles, maraîchères et fourragères, formant ainsi l'agrosystème oasien typique à trois étages (Achoura et Belhamra, 2010).

Environ 400 pivots sont en place dans le Sahara algérien, couvrant une superficie de plus de 200.000 ha de blé notamment au Sahara central (Ould El Hadj, 2011). De nombreux points d'eau temporaires ou permanents, d'eau douce ou saumâtre, existent au Sahara. Généralement ils sont situés au sein des reliefs montagneux mais également en plaine dans des dépressions. Ils abritent une biodiversité souvent variée, constituée essentiellement de poissons, d'amphibiens, de mollusques, de crustacés, d'arthropodes et de bactéries (Trape et Trape, 2013). Dans le parc national de l'Ahaggar, Kourim *et al.* (2011) en 2008-2010 remarquent dans les milieux cultivés, humides et naturels 93 espèces d'insectes réparties entre 12 ordres dont les coléoptères et les orthoptères sont les mieux représentés. Dans l'erg occidental, 60 espèces aviennes et 25 espèces de mammifères sont signalées dans les travaux de De Smet *et al.* (2009). Parmi les mammifères il y a lieu de citer le mouflon à manchettes *Ammotragus lervia* (Pallas, 1777), la gazelle dorcas *Gazella dorcas* (Linné, 1758) et le goundi du Sahara *Ctenodactylus vali*. Parmi les oiseaux l'Outarde houbara *Chlamydotis undulata* (Jacquin 1784) est à noter. Dans le Sahara central, les travaux de Wachter *et al.* (2005) menés dans le parc national de l'Ahaggar font état de la présence d'une faune avienne composée de 50 espèces appartenant à plusieurs familles notamment à celles des Ardeidae, des Falconidae et des Hirundinidae. Ces mêmes auteurs signalent 37 espèces de mammifères dont le guépard [*Acinonyx jubatus* (Schreber, 1776)] et une chauve-souris non identifiée *Chiroptera sp.* Dans les deux précédentes zones du Sahara se trouvent également des reptiles, et des espèces domestiques dominées par les élevages caprins et camelins.

## **Chapitre III – Méthodologie**

Les différentes méthodes d'étude sont exposées, notamment dans un premier temps les méthodes relatives à l'étude du processus de grégarisation de *Schistocerca gregaria*. Le choix des secteurs et de la période d'étude, l'acquisition des données acridiennes et leurs organisations en bases de données exploitables y sont développés. Puis, il est question de l'étude morphométrique des adultes. Ensuite les différentes méthodes d'étude utilisées pour la recherche des foyers grégarigènes naturels sont largement présentées, telles que celles relatives à l'utilisation de la télédétection par le biais de l'imagerie satellitaire, des cartes d'occupation du sol et du calcul des paramètres géophysiques qui aboutissent à la production de cartes thématiques. Il est aussi question des différentes méthodes de traitements des données acridiennes telles que l'ACP et la CAH. Dans une seconde partie les méthodes d'étude des effets biologiques et toxicologiques de *Nerium oleander* sur les larves L<sub>5</sub> sont abordées. L'élevage du criquet et la description de la plante y sont présentés, puis la technique d'extraction de l'huile essentielle et son analyse physico-chimique. Enfin les tests toxicologiques effectués et les analyses statistiques appliquées.

### **3.1. - Processus de grégarisation de *S. gregaria* et recherche de foyers grégarigènes naturels au Sahara**

#### **3.1.1. - Choix des secteurs et de la période d'étude**

En période de rémission, seules les parties centrale et méridionale du Sahara sont concernées par des reproductions régulières ou chroniques du Criquet pèlerin solitaire. Certains sites permettent des reproductions régulières, susceptibles d'engendrer certaines années des phénomènes de transformations phasaire. L'occurrence géographique des populations de *S. gregaria* s'étend entre les latitudes 19° et 31° N. dans les parties centrale, occidentale et méridionale du Sahara (Guendouz-Benrima *et al.*, 2011). Ainsi l'aire d'étude est délimitée de manière à couvrir les secteurs du Sahara, concernés par les reproductions régulières. Cette aire s'étend entre 20° et 30° de latitude nord et 8° 11' Ouest à 9° 30' Est de longitude (Fig. 15).

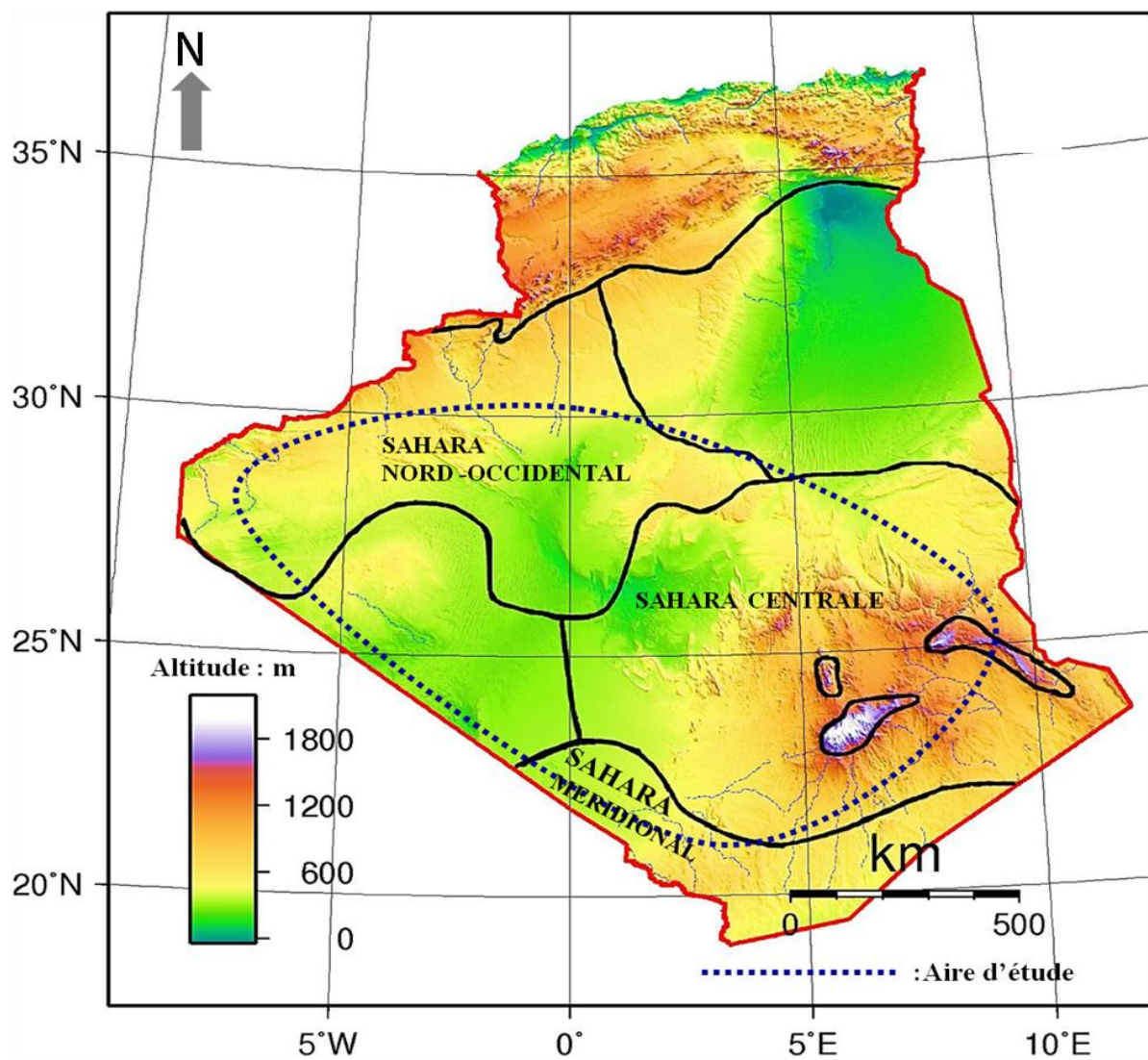


Figure 15 - Délimitation géographique de l'aire d'étude au Sahara (Quezel, 1965.)

Pour ce qui concerne la période d'étude, 4 années successives sont prises en considération après la dernière période d'invasion de 2003-2005. En effet l'étude du processus de grégarisation dans le Sahara algérien s'étale depuis l'année 2007 jusqu'à l'année 2010 soit en phase de rémission. Afin de réaliser la carte d'occupation du sol et d'identifier les biotopes potentiels favorables à la grégarisation de *S. gregaria* six sorties ont été réalisées en mars 2007 et 2008, dans les différents secteurs du Sahara, à Béchar, El Bayadh et à Adrar. Il s'agissait de confronter l'image Landsat TM avec la réalité du terrain et d'identifier par conséquent les unités morpho-pédologiques et la végétation. En 2009 et 2010, dix sorties sont effectuées au Sahara central durant deux principales périodes l'une en automne-hiver en octobre, novembre et décembre et l'autre au printemps durant les mois de mars, avril et mai. Lors de chaque sortie les informations relatives aux populations de *S. gregaria* sont recueillies dans une fiche de prospection. Sur le plan géographique, l'aire d'étude est limitée au Nord par le Sahara septentrional, à l'Ouest par le Maroc, à l'Est par la Libye au Sud-est par le Niger et par le Mali et la Mauritanie au Sud-ouest.

### **3.1.2. - Acquisition des données acridiennes**

Il est question des données pluriannuelles relatives aux populations de *S. gregaria* issues de l'exploitation des bulletins mensuels élaborés par la FAO (FAO, 2007, 2008, 2009, 2010). L'activité annuelle sur le terrain est également exposée. Enfin un accent est émis sur la constitution des bases de données nécessaires à l'exploitation des résultats.

#### **3.1.2.1. - Données DLIS - FAO**

Pour l'analyse qualitative, les informations relatives aux situations acridiennes ont été saisies et synthétisées à travers l'exploitation des bulletins mensuels de signalisation et des cartes de géolocalisation du Criquet pèlerin de la FAO (FAO, 2007, 2008, 2009, 2010). Ces bulletins et ces cartes sont élaborés par le service d'information sur le Criquet pèlerin DLIS (Desert Locust Information Service) (Lecoq, 2012). Ils synthétisent mensuellement les données de terrain recueillies par les prospecteurs des pays concernés par l'habitat du Criquet pèlerin dont l'Algérie qui est représentée par l'institut national de la protection des végétaux (INPV).

Les données comportent, entre autres, des informations relatives aux conditions écologiques, aux zones de signalisations, au statut phénologique et phasaire, aux densités et aux reproductions du Criquet pèlerin.



### 3.1.2.2. – Technique utilisée sur le terrain

Pour la production de cartes thématiques par l'utilisation de l'outil de télédétection et la délimitation spatiale de foyers naturels potentiellement grégarigènes, des sorties de prospection ont été réalisées en mars 2007 et 2008 sur deux principaux transects. Ces derniers sont effectués en fonction du changement majeur de l'occupation du sol. Des informations relatives à la géomorphologie, à la pédologie et à la végétation sont ainsi recueillies. Les transects sont réalisés selon un itinéraire orienté Nord-Sud allant de Tinerkouk (Adrar) passant par El Dmigha (El Bayadh) vers Hassi Bou Khelala (Béchar), long d'environ 170 km et un second orienté d'Ouest vers l'Est, long de 155 km, allant de Tinerkouk vers El Dmigha. Les coordonnées géographiques des unités identifiées sont relevées grâce au GPS (Global Position System). En complément de l'exploitation des données acridiennes de la FAO, au cours des prospections effectuées en 2009 et 2010 au Sahara centrale, à Adrar, il a été noté la présence-absence, l'état phasaire des populations du Criquet pèlerin. Pour les besoins de l'élevage et de l'étude morphométrique des individus sont également capturés dans la région d'Adrar en avril-mai à Aoulef et en novembre-décembre à Zaouiet Kounta.

### 3.1.2.3. - Organisation des bases de données

Le logiciel Excel sous windows est utilisé pour la constitution des données matricielles. La base de données créée pour la saisie des enregistrements, de la FAO et personnelle, se compose de deux parties nommées A et B. La partie A comporte en ligne, l'année et le mois du relevé et en colonne, nommée les variables, les informations relatives aux populations du Criquet pèlerin : larves solitaires, larves transiens, larves grégaires, ailés solitaires, ailés transiens, ailés grégaires, site et coordonnées géographiques. A l'intersection de chaque ligne et de chaque colonne des variables qualitatives sont utilisées pour la présence ou l'absence du Criquet pèlerin dans chaque site. Pour faciliter le traitement de ces informations, les variables sont codées numériquement à l'aide de la valeur 1 pour la présence et 0 pour l'absence (Tab. 7 en annexe).

La partie B de la base de données comporte en ligne l'année et le mois et en colonne les sites de signalisation, les densités larvaires, les densités des ailés, les caractéristiques écologiques, la reproduction et la lutte chimique effectuée (Tab. 8 en annexe).

Cette partie est essentielle pour la discussion des résultats. Une seconde base de données regroupe les informations nécessaires à la production des cartes thématiques pour l'identification des foyers grégarigènes potentielles dans la partie centrale de la zone d'étude.

Elle comporte en ligne les transects, les sites et leurs coordonnées géographiques et en colonne les caractéristiques géomorphologiques, pédologique et végétales. Plusieurs auteurs s'accordent à dire que l'occurrence résultant de variables qualitatives présente un intérêt pratique indéniable pour des études d'écologie ou de biogéographie.

### 3.1.3. - Etude morphométrique

Trois mesures peuvent suffire à caractériser l'état phasaire, au niveau morphologique, d'une population de criquets pèlerins. Il s'agit des mesures de la longueur de l'élytre (E), de la longueur du fémur postérieur (F), et de la largeur maximale de la capsule céphalique (C) (Fig. 16). Ces mensurations sont effectuées à l'aide d'un pied à coulisse.

Les valeurs obtenues sont exprimées sous forme de rapports E/F et F/C. Les mensurations réalisées sur 15 mâles et 15 femelles sont reportées sur l'abaque morphométrique de Rungs (1954) (Fig. 17) (Duranton et Lecoq, 1990). Les indices morphométriques sont utilisés pour montrer quantitativement les différences dans les proportions des parties du corps des imagos qui appartiennent aux différentes phases. Pour chaque sexe, les points situés strictement à l'intérieur du rectangle solitaire correspondront à des individus solitaires types, ceux situés à l'intérieur du rectangle grégaire à des grégaires types. Quant aux individus qui se localisent entre les deux, ils correspondront à des transiens à divers degrés de la transformation phasaire. Les limites entre solitaires, transiens et grégaires sont données à titre indicatif. La représentation conjointe des rapports E/F et F/C sur une telle abaque permet d'obtenir rapidement l'état de grégariformité d'une population (Lecoq, 2012). Le tableau 9 ci-dessous représente les indices morphométriques de *S.gregaria* selon la phase (Duranton et Lecoq, 1990).

**Tableau 9** - Indices morphométriques de *S. gregaria* établis par Dirsh (1953)

Phase	Solitaires		Transiens		Grégaires	
	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
E/F	1,99-2,07	2,02-2,09	2,08-2,13	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

En se basant sur les rapports E/F et F/C, Dirsh (1953) a établi trois classes morphométriques pour les adultes de *S.gregaria*, celles des solitaires, des transiens et des grégaires.

### 3.1.4 - Utilisation de la télédétection

La télédétection spatiale est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci.

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite la mettre en application. Les étapes nécessaires à l'usage de la télédétection sont présentées. D'abord il est question des caractéristiques de l'image satellite Landsat 5 TM, puis de la carte d'occupation du sol et de la classification des pixels et enfin du calcul des paramètres géophysiques.

#### 3.1.4.1. - Imagerie satellitaire Landsat 5 TM

Landsat 5 TM est un système d'observation de la surface terrestre par satellite, Il est lancé en juillet 1982 jusqu'au mois de mai 2012. Il a pour objectif la surveillance de la surface terrestre au travers de l'archivage des images satellitaires avec une répétitivité de 16 jours. Sa résolution est de 30 m et il est équipé du radiomètre TM, qui peut faire ressortir plus de caractéristiques par l'intermédiaire du niveau de brillance des objets. Le radiomètre multi spectral du satellite Landsat 5 TM sépare 7 bandes spectrales différentes, du visible à l'infrarouge thermique. Les radiomètres fournissent des données brutes en compte numérique codées en binaire sur des bandes spectrales, permettent de reconstituer une image (Desjardins et Cavayas, 1991). Pour les besoins de l'étude une image Landsat couvrant en particulier un secteur du Sahara central est utilisée (Fig. 18). Le tableau 10 suivant représente les principales caractéristiques de l'image satellitaire.

Le traitement de l'image Landsat permettra de spatialiser et d'évaluer l'activité végétale dans l'habitat du Criquet pèlerin et aussi de délimiter des biotopes naturels potentiels pouvant favoriser la grégation. Les logiciels ENVI 4.7 sont utilisés pour le traitement de l'image satellitaire et le MapInfo 7.0 pour la production des cartes thématiques du secteur étudié. L'image satellitaire est prétraitée par la correction géométrique et la correction radiométrique (Jensen, 1996).

Ensuite, les données en compte numérique du pixel sont converties en luminance puis en valeurs radiométriques. Cette correction est indispensable pour le traitement de l'image.

**Tableau 10** - Caractéristiques de l'image Landsat 5 TM

Date d'acquisition de l'image	9 avril 2007
Latitude	29°64'-31'03N
Longitude	0°09'E-1°59'E
Taille du pixel (résolution spatiale)	30 m

#### 3.1.4.2. - Carte d'occupation du sol et classification des pixels

La production de cette carte est obtenue grâce à un échantillon pris au hasard, à chaque changement majeur des unités paysagères. Pour ce faire, la méthode de vraisemblance est utilisée. Elle consiste à regrouper des pixels ayant relativement les mêmes valeurs radiométriques (Benguerrai et Belgharbi, 2014). Un pixel d'une image correspond à la surface élémentaire caractérisé par la résolution spatiale du satellite d'observation de la terre (Deshayes et Maurel, 1990).

#### 3.1.4.3. - Calcul des paramètres géophysiques

Les méthodes de calcul des indices de végétation, de brillance et de rougeur des sols sont développées.

##### 3.1.4.3.1. – Indice de végétation (NDVI)

Les pigments foliaires absorbent fortement le rayonnement dans le rouge alors que le parenchyme lacuneux réfléchit une grande partie des rayons proches infrarouge. Ainsi en phase de développement couvert, la biomasse et les quantités de pigments augmentent, ce qui entraîne une hausse dans le proche infrarouge et une baisse dans le produit en fin de cycle végétatif. Plusieurs indices, proportionnels à une activité chlorophyllienne active sont mis au point parmi lesquels le NDVI (Deshayes et Maurel, 1990). Un indice de végétation est une transformation d'une image satellite initiale utilisée pour discriminer la végétation des autres types d'occupation du sol.

Les valeurs des pixels sont souvent calculées à partir des canaux du rouge et du proche infrarouge, car la végétation a des propriétés spécifiques dans ces parties du spectre. Défini par Tucker (1979) l'indice de végétation par différence normalisé (NDVI) mesure la verdeur de la couverture du sol, et est utilisé comme indicateur de la densité et de l'état de la végétation. Il est admis par l'ensemble de la communauté scientifique comme étant fiable et suffisamment stable pour permettre des comparaisons de l'activité végétale aux pas de temps saisonniers ou inter-annuelles (Huete *et al.*, 2002).

Toutefois, les derniers auteurs cités et Zhang *et al.* (2004) reconnaissent certaines limites du NDVI. En effet, l'indice sature ne rend plus compte des variations phénologiques si le couvert végétal est trop dense. Mais ce problème ne se pose pas pour le Sahara compte tenu de l'absence de nuage dense et de la faiblesse de la végétation. La formule de calcul du NDVI est la suivante (Girard et Girard, 1999) :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}}$$

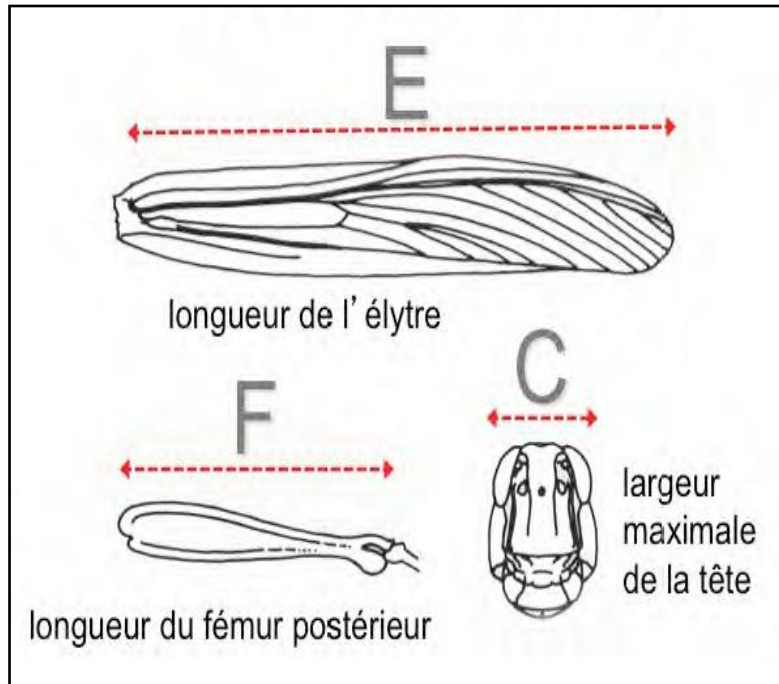
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index; PIR : proche infra rouge; R: canal rouge

#### 3.1.4.3.2. - Indice de brillance (albédo) des sols

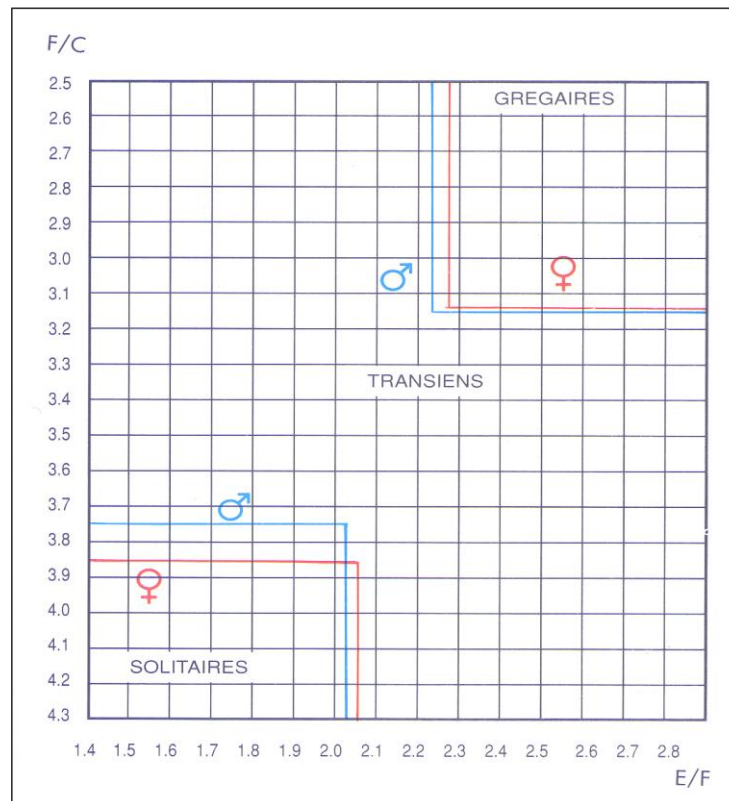
L'indice de brillance IB rend compte de l'albédo des surfaces et permet de dissocier les couvertures végétales des étendues minérales nues. Il est utilisé pour discriminer les unités morpho-pédologiques observées dans la zone d'étude notamment sebkha, montagne, dune, reg et sable. La formule suivante calcule l'indice de brillance (Ghram-Messedi et Delaître, 2007).

$$\text{IB} = \sqrt{\text{R}^2 + \text{V}^2 + \text{PIR}^2}$$

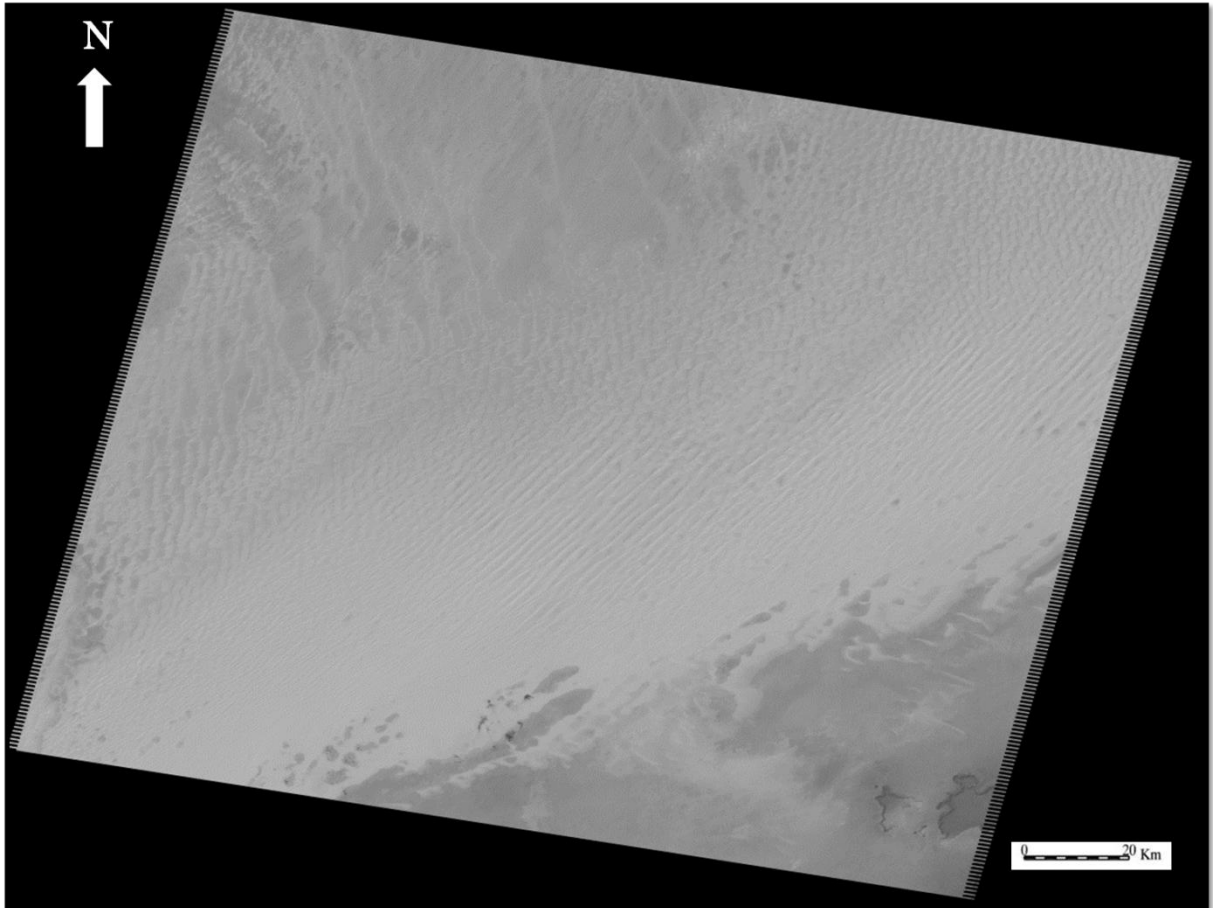
IB : indice de brillance; V: canal vert, R: canal rouge; PIR: proche infrarouge



**Figure 16** - Mesures morphométriques de Dirsh, 1953 (Lecoq, 2012)



**Figure 17** - Abaque morphométrique de Rungs (1954) (Duranton et Lecoq, 1990)



**Figure 18-** Image satellitaire Landsat TM brute (Bande 3) du 09 avril 2007 de l'aire d'étude au Sahara

#### 3.1.4.3.3. - Indice de rougeur ou de couleur IR

L'indice IR traduit la présence de matériaux de couleur rouge dans les sols, comme par exemple les oxy-hydroxydes de fer qui recouvrent souvent les grains de sable par opposition aux croûtes et encroûtements gypseux qui sont d'une couleur blanchâtre.

L'indice de rougeur est obtenu par la formule suivante (Girard et Girard, 1999) :

$$IR = \frac{R - V}{R + V}$$

V: canal vert; R: canal rouge

### 3.1.5. -Traitement des données

Les différentes méthodes de traitement des données acridiennes sont présentées, d'abord l'analyse en composantes principales puis la classification ascendante hiérarchisée et enfin il est question de l'analyse de la variance et des analyses des corrélations.

#### 3.1.5.1. - Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP est une méthode descriptive. Son objectif est de représenter sous forme graphique l'essentiel de l'information contenue dans un tableau de données quantitatif. Elle permet de déterminer quelle est la plus grande variance qu'il est possible de trouver dans un groupe composé de n objets, ainsi que les variables qui sont responsables de cette variance. Une analyse en Composantes Principales des données morphométriques est réalisée séparément pour les mâles et les femelles du Criquet pèlerin en utilisant le logiciel Statistica.



### 3.1.5.2. - Utilisation de la Classification Ascendante Hiérarchisée (CAH)

La classification ascendante hiérarchisée est une méthode de traitement des variables qualitatives (Abdallah et Saporta, 1998). Elle consiste à agréger d'abord les individus les plus semblables entre eux, puis les observations ou groupes d'observations un peu moins semblables et ainsi de suite jusqu'au regroupement trivial de l'ensemble de l'échantillon. De proche en proche, tous les individus sont regroupés suivant un arbre hiérarchique ou dendrogramme. Ce dendrogramme présente la composition des différentes classes ainsi que l'ordre dans lequel elles sont formées (Williams *et al.*, 1966). La hiérarchisation des individus dans le dendrogramme se fait suivant les distances qui les séparent. Ce sont la distance à la puissance et la distance euclidienne qui est le type de distance le plus couramment utilisé, puisqu'il s'agit simplement d'une distance géométrique dans un espace multidimensionnel (Roux, 2006).

En coupant le dendrogramme au niveau d'un saut important de l'indice d'agrégation, il est obtenu une partition de bonne qualité car les individus regroupés en-dessous de la coupure sont proches, alors que ceux regroupés après la coupure sont éloignés.

Par le biais du logiciel Statistica la CAH est appliquée aux variables phénologiques et phasaires du Criquet pèlerin par rapport aux relevés et inversement.

### 3.1.5.3. - Anova et analyses des corrélations

Les résultats obtenus sont traités par une analyse de la variance (anova) et les comparaisons sont effectuées à un seuil de probabilité de 5 %. Des analyses de corrélations sont également faites. Les différentes analyses concernent les populations acridiennes. Le logiciel Statistica et l'Excel sous Windows sont exploités.

## **3.2. - Etude des effets toxicologiques de *Nerium oleander* L. sur les larves de *S. gregaria***

Les différentes étapes de l'étude sont exposées, d'abord l'élevage du Criquet pèlerin, l'origine et l'extraction de l'huile essentielle de *Nerium oleander*, puis les tests de toxicité par ingestion par les larves. Il est ensuite question de l'analyse physico-chimique de l'huile essentielle extraite et des analyses statistiques pour traiter les résultats obtenus sur la toxicité.

### **3.2.1. - Elevage des criquets**

Les criquets utilisés pour les essais sont originaires de la région d'Adrar. Les larves du 5ème stade sont issues d'un élevage en masse maintenu au niveau du laboratoire de zoologie de l'université de Mascara (Algérie). Les criquets, en phase solitaire, sont élevés dans des cages en bois de forme cubique de 60cm.

Les insectes sont maintenus à une température de  $33\pm 02^{\circ}\text{C}$ , une photopériode de 12 :12h et une humidité relative de 65 à 75%. L'alimentation est constituée, selon les saisons, principalement de chou (*Brassica oleracea* L.), de blé dur (*Triticum durum* L.) de son et d'eau.

### **3.2.2. - *Nerium oleander***

Les feuilles âgées du laurier rose *Nerium oleander* sont récoltées, au printemps dans la région de Mascara (Algérie). *N. oleander*, appartenant à la famille des Apocynacées croît spontanément dans la région méditerranéenne, l'Asie et l'Océanie subtropicales.

En Algérie sa présence est assez commune, surtout sur les alluvions et les terrains rocailloux. La plante avance le long des oueds dans le Nord du Sahara et se retrouve dans les montagnes du Tassili et du Hoggar (Chevalier, 1932).

### **3.2.3. - Extraction de l'huile essentielle**

100 g de feuilles fraîches de *N. oleander* sont hydro-distillés pendant 3 heures à 100 °C dans un ballon de 250 ml remplie aux 2/3 d'eau distillée. A la fin de l'hydro distillation et après décantation, l'huile essentielle de couleur jaune clair est ensuite séchée avec du sulfate de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) puis mise dans un petit flacon de verre sombre hermétiquement fermé et stocké à 4 °C. Pour les besoins de l'expérimentation plusieurs hydro distillations des feuilles sont effectuées dans les mêmes conditions. Une partie de l'huile est réservée pour les analyses phytochimiques. L'huile essentielle extraite est diluée dans 2 ml d'acétone. Cette solution est employée pour faire des tests sur les larves  $L_5$  du Criquet pèlerin.

### **3.2.4. - Tests de toxicité par ingestion sur les larves L<sub>5</sub>**

Les larves L<sub>5</sub> sont placées individuellement dans des bocaux de 1 litre à grande ouverture, recouverts par une gaze et dotés de supports pour permettre aux larves de se percher et de muer. Les bocaux sont ensuite placés dans une enceinte dont la température est de l'ordre de 30 °C ± 2 °C et une photopériode de 12/12. 40 larves sont utilisées pour les tests. Trois répétitions sont effectuées et constituées chacune de 10 larves et un lot de 10 autres individus sert de témoin.

Au début de l'expérience, les individus sont soumis à un jeûne de 24 heures, puis pesés juste avant les tests. Des feuilles de chou fraîches sont mises dans un bocal pour déterminer l'évapotranspiration qui ajuste la quantité de nourriture consommée et renseigne sur le taux d'humidité de 50 ± 5 %. Les individus, objet des tests, sont alimentés avec des fragments déterminés de feuille de chou, *Brassica oleracea* (Brassicaceae), imbibés d'une quantité de l'huile essentielle de *N. oleander*. Les témoins reçoivent des feuilles de chou trempées dans le solvant acétone. Les fragments de chou sont mis 15 à 20 minutes à l'air libre pour faire évaporer l'acétone avant d'être présentés aux larves. Le choix du chou, comme plante nourricière est le fait de sa valeur nutritive exceptionnelle et son appétibilité par *S. gregaria* (Ould el Hadj *et al.*, 2004). Toutes les 24 heures, la prise de nourriture, l'évolution pondérale et la mortalité des individus sont notées. L'expérimentation est suivie jusqu'à la mortalité totale des individus traités.

### **3.2.5. - Analyse physico-chimique de l'huile essentielle de *N. oleander***

Les méthodes de calcul des paramètres physique et chimiques sont précisées. D'abord celle du rendement en huile essentielle, la détermination du pH et la densité à 20 °C puis l'indice de réfraction et le pouvoir rotatoire.

### 3.2.5.1 - Rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids de la plante à traiter (Carré, 1953). Le rendement, exprimé en pourcentage est calculé selon la formule suivante :

$$Rd = P_1/P_2 \times 100$$

Rd = Rendement d'huile essentielle en %.  $P_1$  = Poids de l'huile essentielle en (g).  $P_2$  = Poids de la plante en (g).

### 3.2.5.2. - Détermination du pH et la densité à 20 °C

La mesure du pH est effectuée par le biais du pH-mètre en immergeant l'électrode dans l'huile essentielle après étalonnage à l'aide d'une solution tampon (Afnor, 1986). La densité relative s'exprime par le rapport de la masse d'un certain volume d'huile essentielle et de la masse d'un volume égal d'eau distillée à 20°C. Elle est donnée par la formule suivante :

$$D = m_1/m_2$$

$m_1$  : la masse en gramme d'huile essentielle ;  $m_2$  : la masse en gramme d'eau distillée

La détermination de la masse relative  $m_1$  de 1 ml de l'huile essentielle et  $m_2$  de 1 ml d'eau distillée se fait à l'aide d'une balance précise.

### 3.2.5.3. - Indice de réfraction et pouvoir rotatoire

L'indice de réfraction (IR) d'une substance exprime le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux monochromatique qui traverse la substance à une température constante de 20 °C (Gachkar *et al.*, 2007).

Il est évalué à l'aide du réfractomètre par lecture directe et il est donné par la formule suivante :

$$IR_{20^{\circ}C} = IR_{\text{température ambiante}} - 0,0004 (\text{température ambiante} - 20^{\circ}C)$$

Le pouvoir rotatoire est l'angle exprimé en milli radians et/ou degrés d'angle dont tourne le plus de polarisation d'une radiation lumineuse.

La technique consiste à utiliser un polarimètre (Kruss) avec une lampe à sodium, raie jaune de longueur d'onde  $589 \pm 0,3$  nm, et une cellule de 2 dm de longueur remplie d'huile essentielle diluée dans l'éthanol à raison de 0,2g dans 100ml. L'angle de rotation est lu directement sur l'appareil (Gachkar *et al.*, 2007).

Le pouvoir rotatoire est donné par la formule suivante :

$$P = \alpha / (L \times C)$$

$\alpha$  : Valeur lue sur l'appareil en degrés d'angle. L: Epaisseur du film (cellule) en dm

C: Concentration de l'huile essentielle exprimée en g/ml

### 3.2.6. - Analyses statistiques

Les résultats de l'étude de la toxicité de *N. oleander* sur les larves du Criquet pèlerin sont traités par une analyse de la variance (Anova). Les comparaisons sont effectuées à un seuil de probabilité de 5 %. Le TL50 et les intervalles de confiance à 95 % sont donnés par l'analyse des probabilités après ajustement du modèle de régression logistique. Le logiciel XLSTAT est utilisé pour les analyses statistiques. Le TL50 ou temps létal 50 correspond à la durée d'exposition entraînant 50 % de mortalité des individus testés (Ramade, 2007).

## **Chapitre IV – Résultats**

Les résultats obtenus sont exposés, d'abord ceux relatifs à l'étude du processus de la grégarisation du Criquet pèlerin. Il est question dans cette partie des occurrences annuelles et mensuelles par stade phénologique et phasaire du Criquet pèlerin puis selon les régions géographiques au Sahara. Ensuite l'étude de l'action de la pluviométrie et de la température sur le processus de grégarisation est appuyée par une analyse statistique. Les résultats relatifs à la morphométrie des individus capturés dans le Sahara central et leurs analyses en composantes principales (ACP) sont bien développés. Dans une seconde partie, les résultats de l'identification des foyers grégarigènes naturels potentiels par le biais de la télédétection sont exposés. Plusieurs cartes sont présentées notamment celles de la végétation et de l'occupation du sol. Enfin dans une dernière partie il est question des résultats de l'étude de la toxicité de l'huile essentielle du laurier rose sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*.

### **4.1. - Processus de grégarisation de la sauterelle pèlerine au Sahara**

L'occurrence annuelle des relevés des populations de *S. gregaria* y est présentée. Ensuite il est question de son occurrence mensuelle, suivie par la classification ascendante hiérarchique des stades phénologiques et phasaires et aussi l'occurrence mensuelle par année d'étude. Enfin un accent est mis sur l'occurrence des populations par zone géographique de la région d'étude.

#### **4.1.1. - Occurrence annuelle des relevés de *S.gregaria***

D'une manière générale, durant les quatre années d'étude, l'occurrence annuelle des relevés du Criquet pèlerin montre la dominance des populations solitaires aussi bien pour les larves que pour les ailés. Les solitaires constituent 82,4 % dans l'ensemble des relevés tandis que les transiens et les grégaires représentent respectivement 16,8 % et 0,8 %. La population des grégaires est représentée uniquement par les larves. L'analyse annuelle des relevés, en période de rémission, montre une différence dans la composition phasaire. Les larves grégaires ne sont présentes qu'en 2007, année durant laquelle les ailés transiens sont les plus fréquents. Les années 2008, 2009 et 2010 sont caractérisées par l'absence des grégaires et par la présence des solitaires et des transiens. Si les fréquences des solitaires sont élevées durant les quatre années notamment pour les ailés, celles des transiens sont beaucoup plus faibles.

La répartition annuelle des occurrences des solitaires est assez régulière à l'exception de l'année 2010 (Fig. 19). Le tableau 11 ci-dessous représente l'occurrence des relevés annuels du Criquet pèlerin par stade phéno-phasaire pour les années 2007, 2008, 2009 et 2010.

**Tableau 11** - Occurrence annuelle de *S.gregaria* par stade phénologique et phasaire au Sahara (2007-2010)

Année	L.S	L.T	L.G	A.S	A.T	A.G
2007	4	1	1	19	8	0
2008	5	4	0	26	0	0
2009	5	2	0	27	0	0
2010	3	3	0	14	3	0
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>86</b>	<b>11</b>	<b>0</b>

L : larves ; A : ailés ; S : solitaires ; T : transiens ; G : grégaires

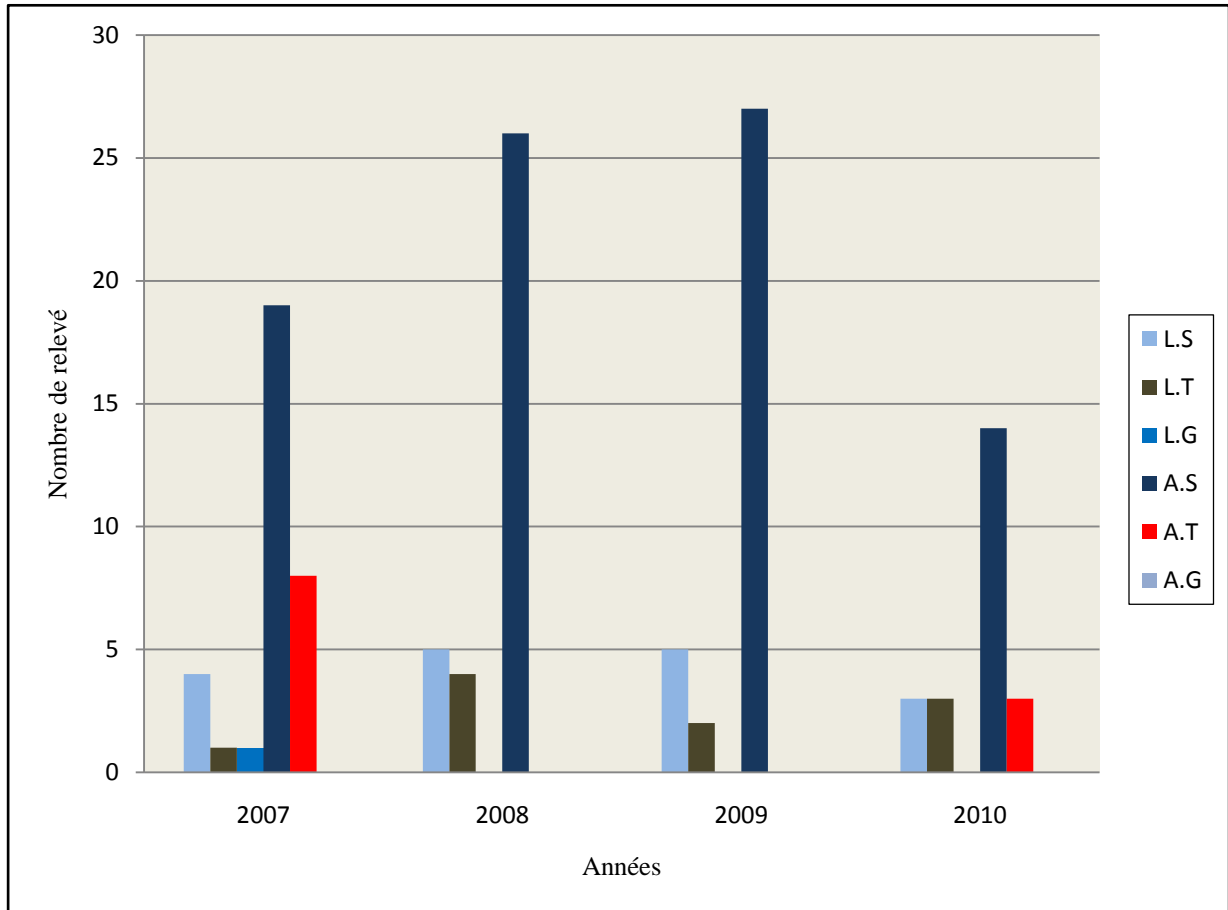
#### 4.1.2. - Occurrence mensuelle de *S. gregaria*

Les occurrences mensuelles enregistrées pour les populations de *S. gregaria* au Sahara, durant les années allant de 2007 à 2010 sont exposées dans le tableau 12.

**Tableau 12** - Occurrence mensuelle des populations de *S.gregaria* (2007-2010)

Mois	L.S	L.T	L.G	A.S	A.T	A.G
I	0	0	0	6	0	0
II	1	0	0	10	0	0
III	0	0	0	10	0	0
IV	1	1	0	9	0	0
V	8	4	1	11	2	0
VI	1	2	0	9	1	0
VII	0	0	0	6	0	0
VIII	1	0	0	2	0	0
IX	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	4	0	0
XI	1	3	0	10	3	0
XII	4	0	0	9	5	0
<b>Totaux</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>86</b>	<b>11</b>	<b>0</b>

L : larves ; A : ailés ; S : solitaires ; T : transiens ; G : grégaires



**Figure 19** - Fréquences annuelles de *S. gregaria* par stade phéno-phasaire (2007-2010).

L : larves ; A : ailés ; S : solitaires ; T : transiens ; G : grégaires



L'analyse des résultats montre que les solitaires (A.S. et L.S.) sont présents presque tout au long de l'année dans la région d'étude (Tab. 12). Les larves solitaires (L.S.) sont beaucoup plus fréquentes en décembre et en mai, qu'en novembre, juin et août. Elles sont absentes le reste de l'année. Quant aux ailés solitaires (A.S.), ils sont présents toute l'année avec des fréquences élevées en hiver, au printemps et en été à l'exception du mois d'août qui montre la plus faible fréquence. Ils sont cependant absents en septembre. L'apparition des larves solitaires (L.S.) avec des fréquences élevées en hiver et au printemps laisse supposer l'existence de deux reproductions, l'une hiverno-printanière et l'autre estivale. Les larves et les ailés transiens sont beaucoup moins fréquents que les populations solitaires. Les transiens (A.T et L.T.) s'observent durant quatre mois de l'année, partagés en deux périodes, l'une en mai -juin et l'autre en novembre-décembre. Les larves présentent des fréquences importantes mai et les ailés en décembre. En ce qui concerne les grégaires, ils sont représentés dans un seul relevé, enregistré en mai pour les larves alors qu'aucun ailé n'est signalé.

#### 4.1.2.1. - Classification ascendante hiérarchique des différents stades de *S. gregaria*

Les résultats de la classification (CAH) des variables, soit stade phénologique et stade phasaire du Criquet pèlerin en fonction des mois d'observation sont illustrées dans la figure 20. Ceux des variables mensuelles en fonction des observations acridiennes sont représentés par la figure 21. Dans le dendrogramme, la distance d'agrégation est fixée à 6 afin de former des groupes de variables semblables entre elles. En effet l'examen du dendrogramme permet de classer les variables relatives au Criquet pèlerin en 4 classes. Les groupes d'individus du Criquet pèlerin formant des classes homogènes sont rassemblés dans le tableau 13. Sur le dendrogramme, la distance d'agrégation qui sépare les ailés solitaires et les larves solitaires est grande, supérieure à 6 et égale à 23. Ils ne peuvent pas, par conséquent, former un groupe. Par contre les transiens et les grégaires, L.T., L.G., A.G. et A.T., constituent un groupe homogène ce qui signifie que leurs présences-absences sont liées. Ce groupe présente donc des affinités semblables et évoluent dans le milieu ensemble. La classe 3 représentée par les larves et ailés grégaires présente le nœud le plus élevé de la classification dans le dendrogramme ce qui signifie qu'il existe une très forte liaison entre eux en ce qui concerne leurs présences -absences. Ces résultats confirment que la région d'étude constitue une zone de transformation phasaire de *S. gregaria*.

L'interprétation du dendrogramme de la figure 21 montre que les variables mensuelles sont disposées en chaîne par rapport à leur distance d'agrégation.

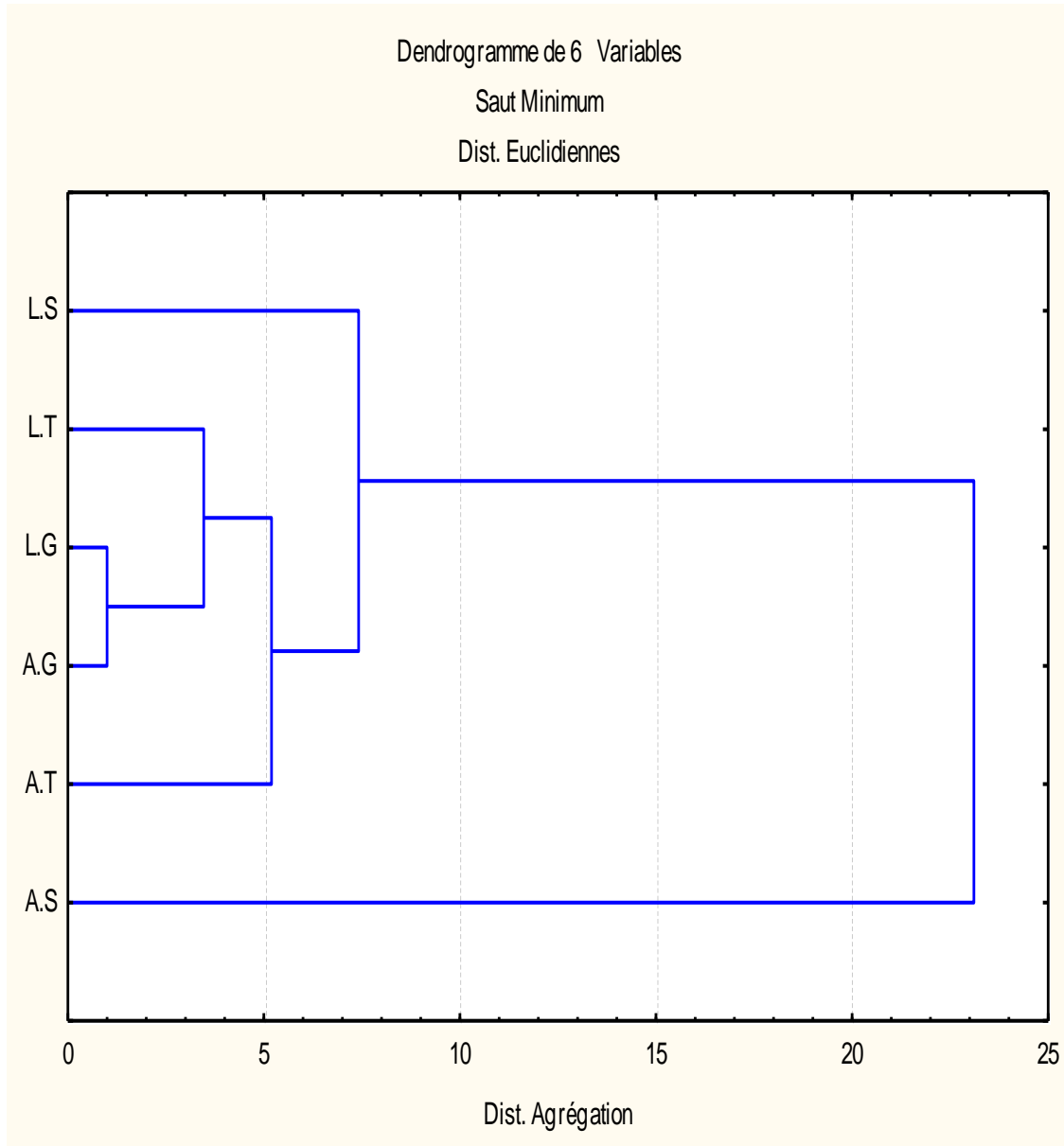
En effet les variables les plus proches constituent sur l'arbre, le noyau auquel viennent se raccrocher progressivement les autres variables mensuelles. Cette analyse a permis d'établir les relations d'affinités entre les variables mensuelles et les observations des populations du Criquet pèlerin.

Les mois situés en dehors de l'arbre et non liées correspondent à l'absence absolu des populations de Criquet pèlerin sur le terrain notamment ceux des années 2007, 2008, 2009 et 2010. Par contre les mois formant des liaisons en chaîne sur le dendrogramme ont des affinités semblables indiquent que le processus de grégarisation au Sahara se déroule durant deux périodes l'une hiverno-printanière et l'autre estivale. Les principales périodes de transformation phasaire sont représentées par des accolades sur l'arbre de classification.

**Tableau 13** - Classes des variables phénologiques et phasaires de *S. gregaria*

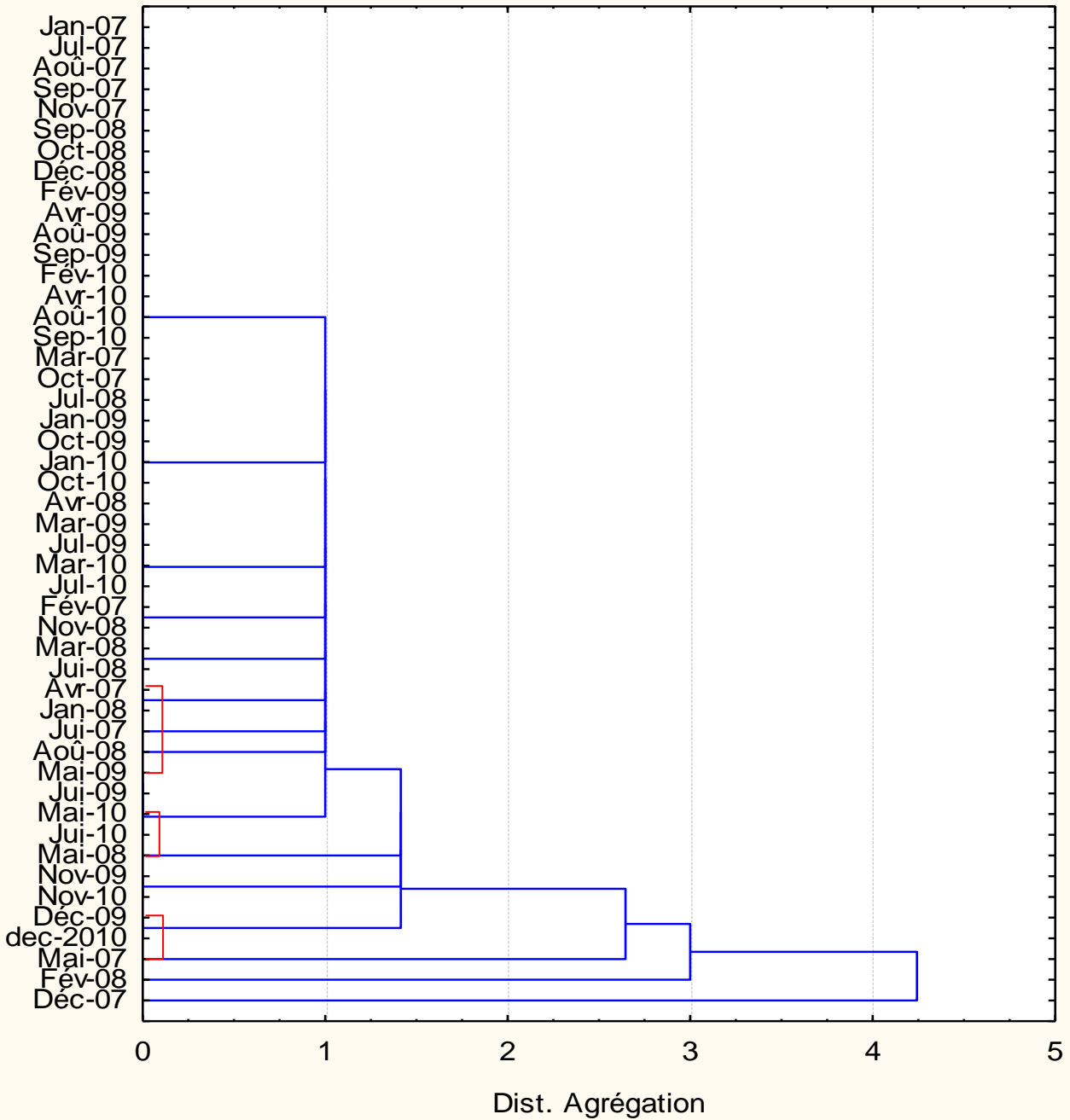
Classes	1	2	3	4
Etats et stades de <i>S. gregaria</i>	A.S	A.T A.G L.G L.T	A.G L.G	L.S

**L** : larves ; **A** : ailés ; **S** : solitaires ; **T** : transiens ; **G** : grégaires



**Figure 20** - Dendrogramme (CAH) des variables acridiennes sur un pas de temps mensuel pendant la période d'étude. L : larves ; A : ailés ; S : solitaires ; T : transiens ; G : grégaires

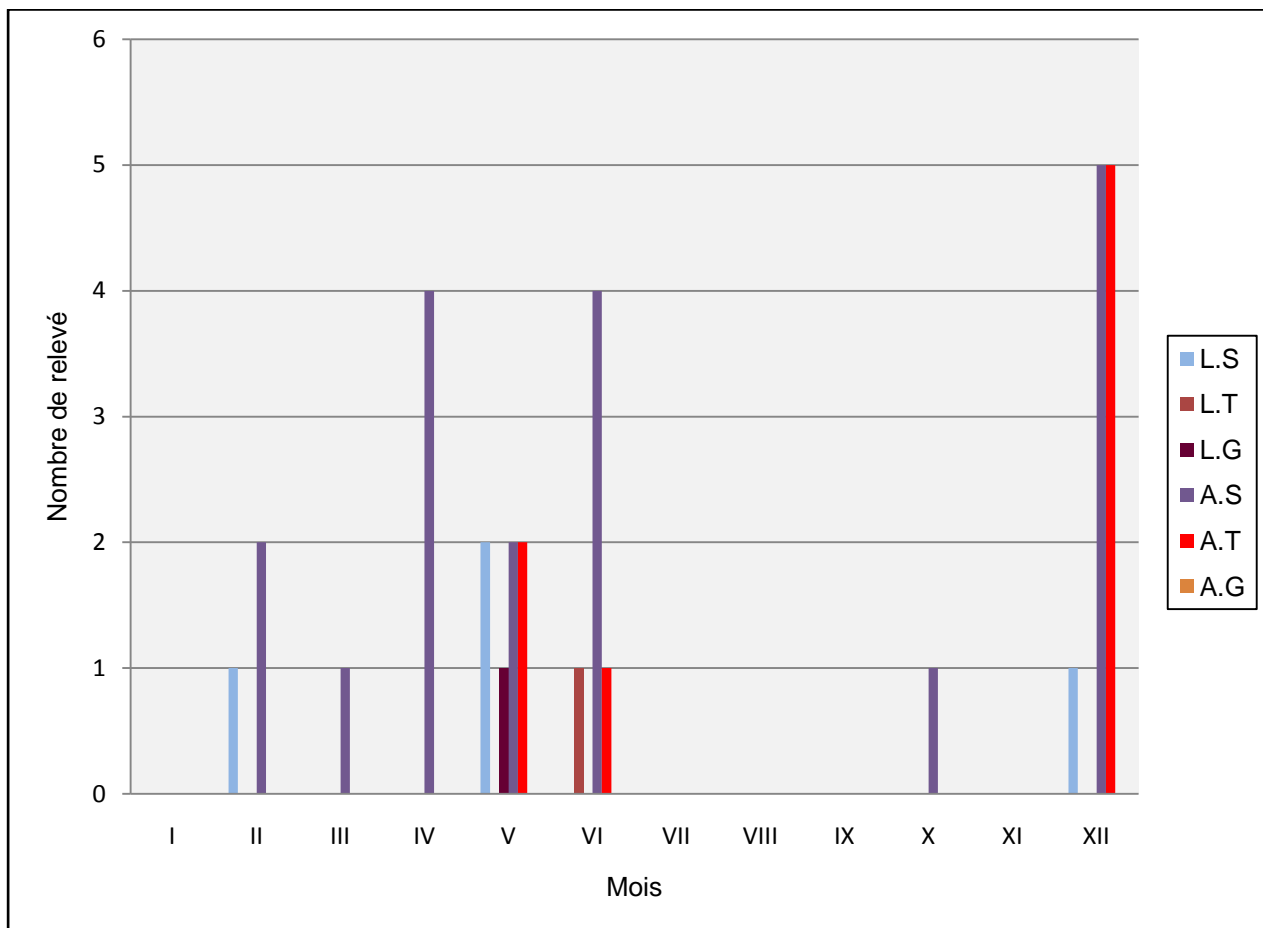
Dendrogramme de 48 Variables  
 Saut Minimum  
 Dist. Euclidiennes



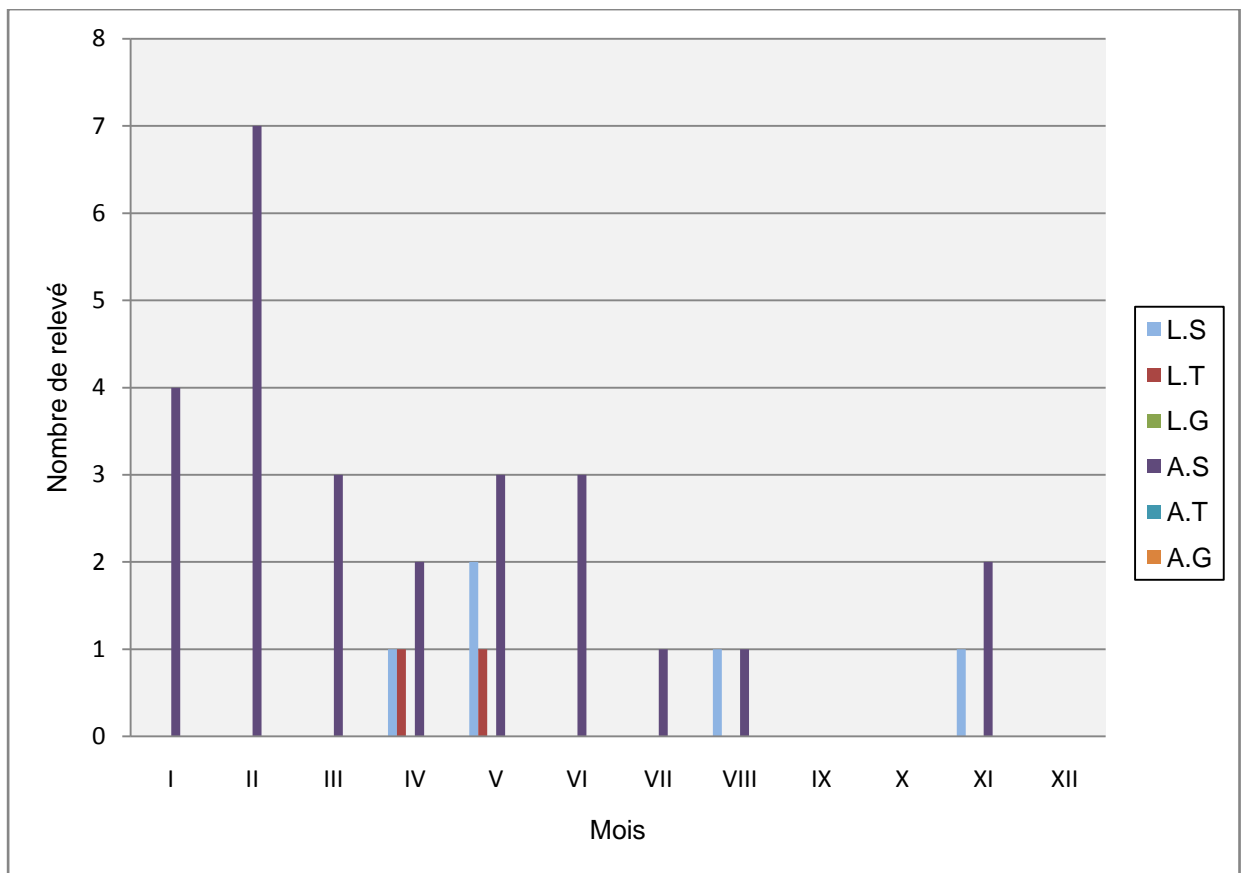
**Figure 21** - Dendrogramme (CAH) des variables mensuelles en fonction des observations qualitatives de *S. gregaria*

#### 4.1.2.2. - Occurrences mensuelles par année d'étude

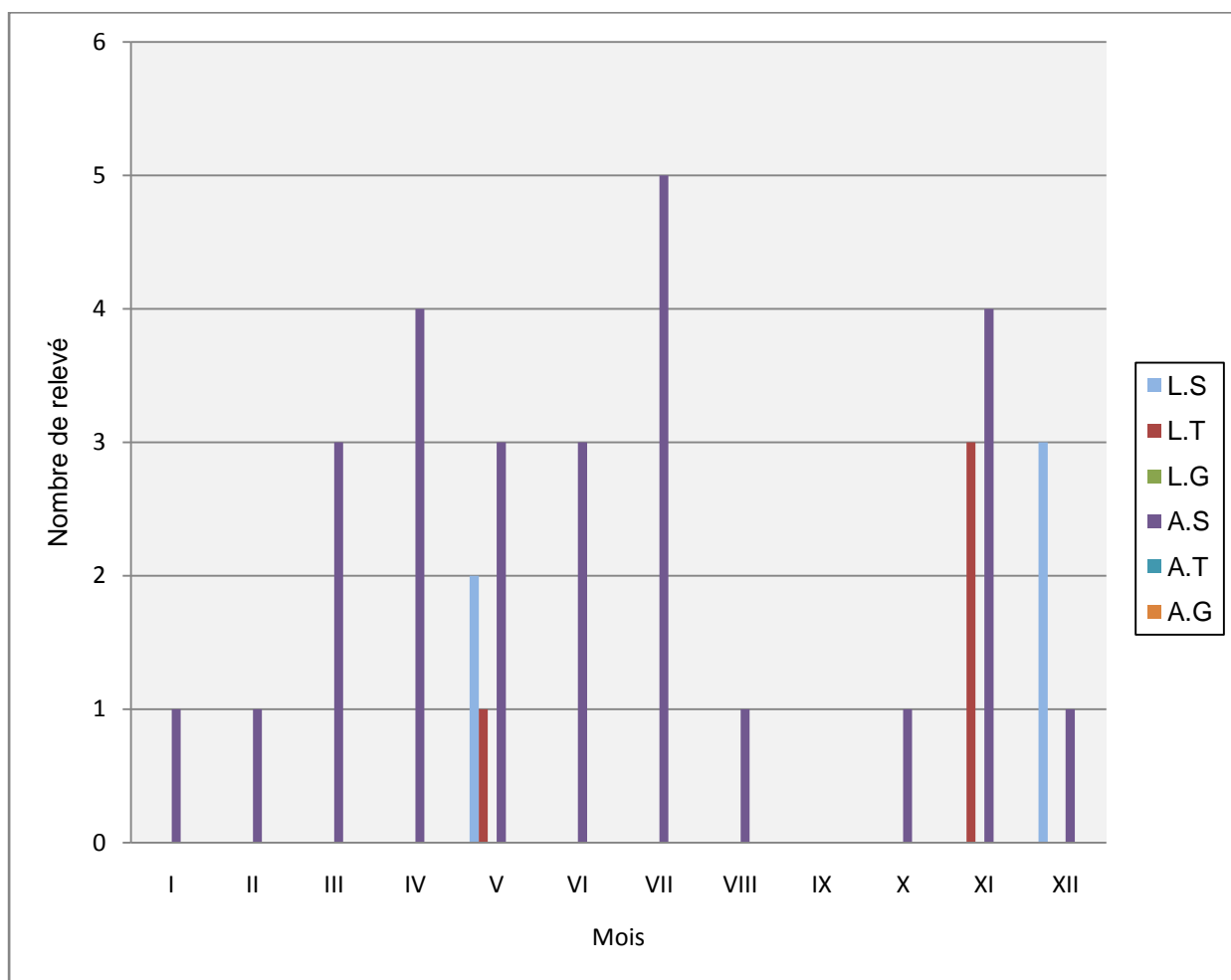
L'analyse de l'histogramme montre que durant l'année 2007 les solitaires sont présents à un niveau beaucoup plus élevé en période hiverno-printanière qu'en période estivale. Ils sont cependant absents pendant 5 mois (Fig. 22 ; Tab 14 en annexes). Les transiens ne sont représentés que par des ailés en mai et juin avec un pic en décembre. Mais ils disparaissent le reste de l'année. Par contre, les grégaires apparaissent en mai et ne sont représentés que par des larves. En 2008, les ailés solitaires sont présents presque toute l'année avec des fréquences élevés en période hiverno-printanière alors que les larves sont peu nombreuses et même absentes durant 9 mois de l'année. Les larves transiens s'observent faiblement en mai et le reste des stades phasaires demeure absents toutes l'année (Fig. 23 ; Tab. 15 en annexes). Pour ce qui est de l'année 2009, les solitaires sont beaucoup plus fréquents que les autres phases avec des fréquences assez élevées au printemps et en été. Les ailés solitaires apparaissent presque toute l'année alors que les larves ne sont présentes qu'aux mois de décembre et de mai. Hormis les larves transiens vues à un faible niveau en novembre et en mai, les autres phases sont absentes toute l'année (Fig. 24 ; Tab. 16 en annexes). Enfin en 2010, les ailés solitaires présentent presque les mêmes tendances que les années précédentes et les ailés transiens réapparaissent 3 années plus tard en novembre. Quant aux larves transiens elles sont présentes en mai, en juin et en novembre. Les formes grégaires sont absentes (Fig. 25 ; Tab. 17 en annexes).



**Figure 22** - Fréquence mensuelle de *S. gregaria* par stade phéno-phasaire en 2007

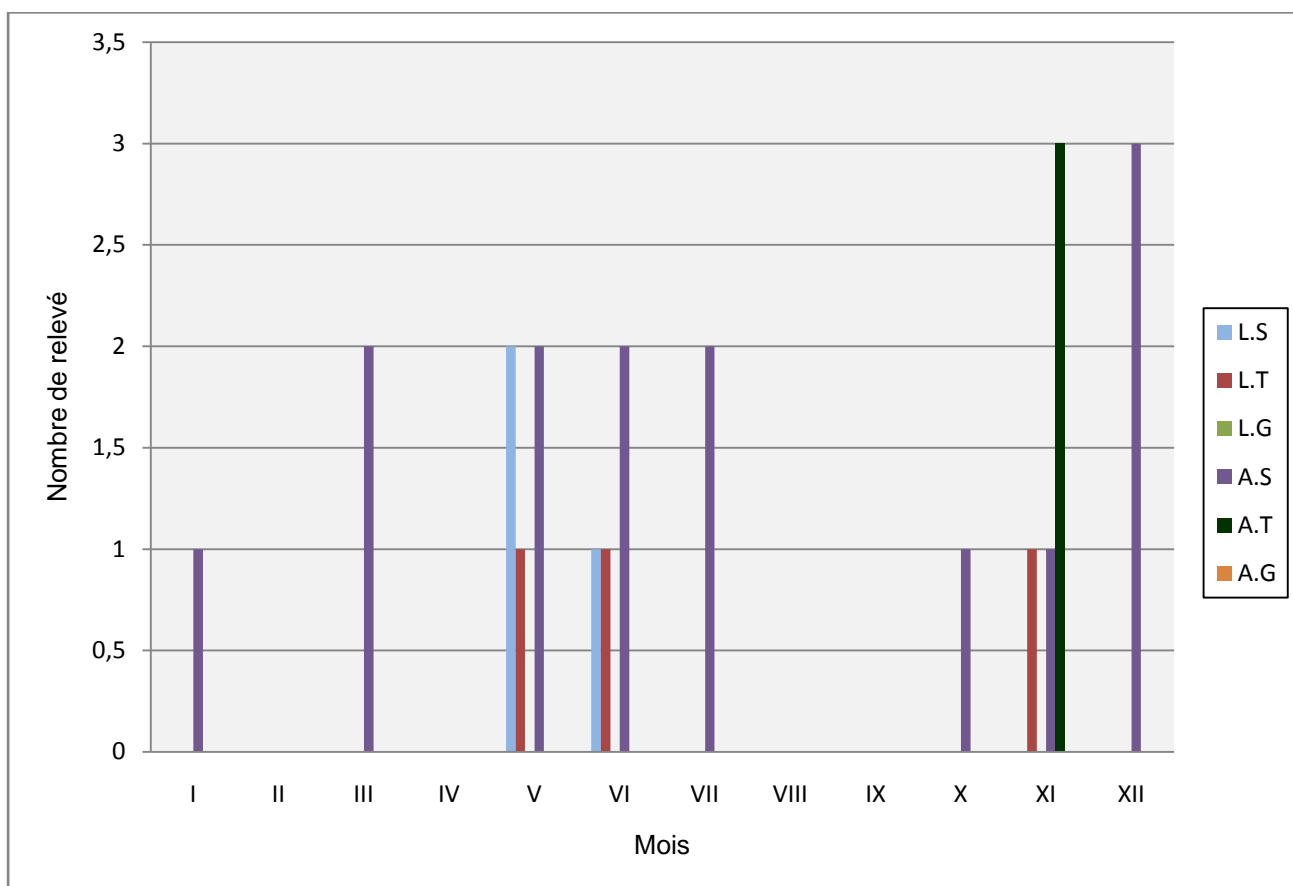


**Figure 23** - Fréquence mensuelle de *S.gregaria* par stade phéno-phasaire en 2008



**Figure 24** - Fréquence mensuelle de *S. gregaria* par stade phéno-phasaire en 2009





**Figure 25** - Fréquence mensuelle de *S. gregaria* par stade phéno-phasaire en 2010

### 4.1.3. - Occurrence des populations de *S. gregaria* par zone géographique

Les occurrences de *S. gregaria* par zone géographique du Sahara sont exposées.

D'abord il est question des fréquences d'occurrence phéno-phasaire par secteur d'étude du Sahara, ensuite les occurrences des larves et ailés solitaires, des larves et ailés transiens et enfin celles des larves et ailés grégaires.

#### 4.1.3.1. - Fréquences d'occurrence phéno-phasaire par secteur d'étude du Sahara

L'étude des fréquences du Criquet pèlerin dans le Sahara s'est faite en tenant compte des secteurs occidental, central et méridional. Les caractéristiques géographiques par secteur saharien sont regroupées dans le tableau 18.

**Tableau 18** - Caractéristiques géographiques et régions principales des secteurs d'étude

Secteur du Sahara	Latitude Nord	Longitudes	Altitudes en m	Régions principales
<b>Occidental (S.O.)</b>	27° 39'-30°08'N.	8°08'O. - 2°14 O	468-530	Béchar
<b>Central (S.C.)</b>	24°29'-31°31' N.	9°26'E. - 1°53'E	535-930	Adrar
<b>Méridional (S.M.)</b>	19°30'-22°78' N.	5°48'E - 5°52'E	377-623	Tamanrasset

**S.O.** : Sahara occidental. **S.C.**: Sahara central. **S.M.** : Sahara méridional **O** : Ouest : **E** : Est

Les latitudes et les longitudes représentent les limites principales de chaque secteur. En effet l'occurrence géographique des populations de *S. gregaria* s'étend entre les latitudes 19° et 31°N au Sahara central, occidental et méridional ayant respectivement comme régions principales Bechar, Adrar et Tamanrasset. Dans le tableau 19, les fréquences d'occurrence des relevés de *S. gregaria* par secteur d'étude au Sahara sont rassemblées.

**Tableau 19** - Fréquence d'occurrence des relevés de *S. gregaria* par secteur saharien (2007-2010)

Stades	Sahara occidental	Sahara central	Sahara méridional	total	Fréquence d'occurrence %
<b>L.S</b>	9	3	5	17	13,6
<b>L.T</b>	1	6	3	10	8
<b>L.G</b>	0	1	0	1	0,8
<b>A.S</b>	11	51	24	86	68,8
<b>A.T</b>	0	9	2	11	8,8
<b>A.G</b>	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	21	70	34	125	100
<b>Taux %</b>	<b>16,8</b>	<b>56</b>	<b>27,2</b>		<b>100</b>

En ce qui concerne les occurrences par secteur, 56 % des populations larvaires et ailés sont signalées au Sahara central contre 27,2 % au Sahara méridional et seulement 16,8 % au Sahara occidental (Tab. 19). Pour ce qui est des occurrences, dans les relevés, par stade phénologique et phasaire du Criquet pèlerin, les populations solitaires sont dominants avec un taux de 68,8 % pour les ailés et 13,6 % pour les larves. Quant aux individus transiens, ils ne représentent que 8 % pour les ailés et 8,8 % pour les larves, tandis que les larves grégaires ne constituent que 0,8 % de l'ensemble des 125 relevés acridiens. Les ailés grégaires sont absents des relevés.

#### 4.1.3.2. - Larves et ailés solitaires

Les fréquences mensuelles des populations larvaires solitaires du criquet pèlerin dans le Sahara sont présentées (Fig. 26 ; Tab. 20 en annexes). Les résultats obtenus montrent que les larves solitaires sont beaucoup plus présentes dans le Sahara central qu'ailleurs. En effet elles se rencontrent durant 6 mois de l'année au Sahara central notamment en hiver, au printemps et faiblement en été et seulement durant 3 mois (décembre, avril, mai) et 1 mois (mai) respectivement pour les zones du Sahara méridional et occidental. Le pic de développement des larves solitaires s'observe au mois de mai pour les trois zones du Sahara et aussi aux mois de décembre uniquement pour le Sahara central et méridional. La fréquence d'occurrence des ailés est représentée par la figure 27 (Tab.21 en annexes). Les résultats montrent que les ailés solitaires sont présents presque toute l'année au Sahara avec des fréquences élevés pour le Sahara central notamment durant la période hiverno-printannière et des fréquences faibles en été.

Au mois de juin et entre août et novembre les ailés sont absents au Sahara occidental mais y sont plus fréquents en hiver et au printemps.

#### 4.1.3.3. - Larves et ailés transiens

Les résultats des occurrences mensuelles des larves et des ailés transiens sont illustrés par les figures 28 et 29 (Tab. 20 et 21 en annexes). Dans le Sahara les larves et les ailés s'observent durant les mois de novembre, de décembre et d'avril à juin. Elles s'estompent le reste de l'année. Au Sahara central les larves et les ailés apparaissent en novembre et décembre et en mai et en juin avec des fréquences élevées en mai et en novembre. Par contre au Sahara occidental les transiens ne sont représentés que par les larves vues en juin. Pour ce qui concerne le Sahara méridional, les larves et les ailés ne sont vues qu'aux mois d'avril, novembre et décembre. Néanmoins ils présentent de faibles fréquences mensuelles par rapport à celles des populations occupant le Sahara central.

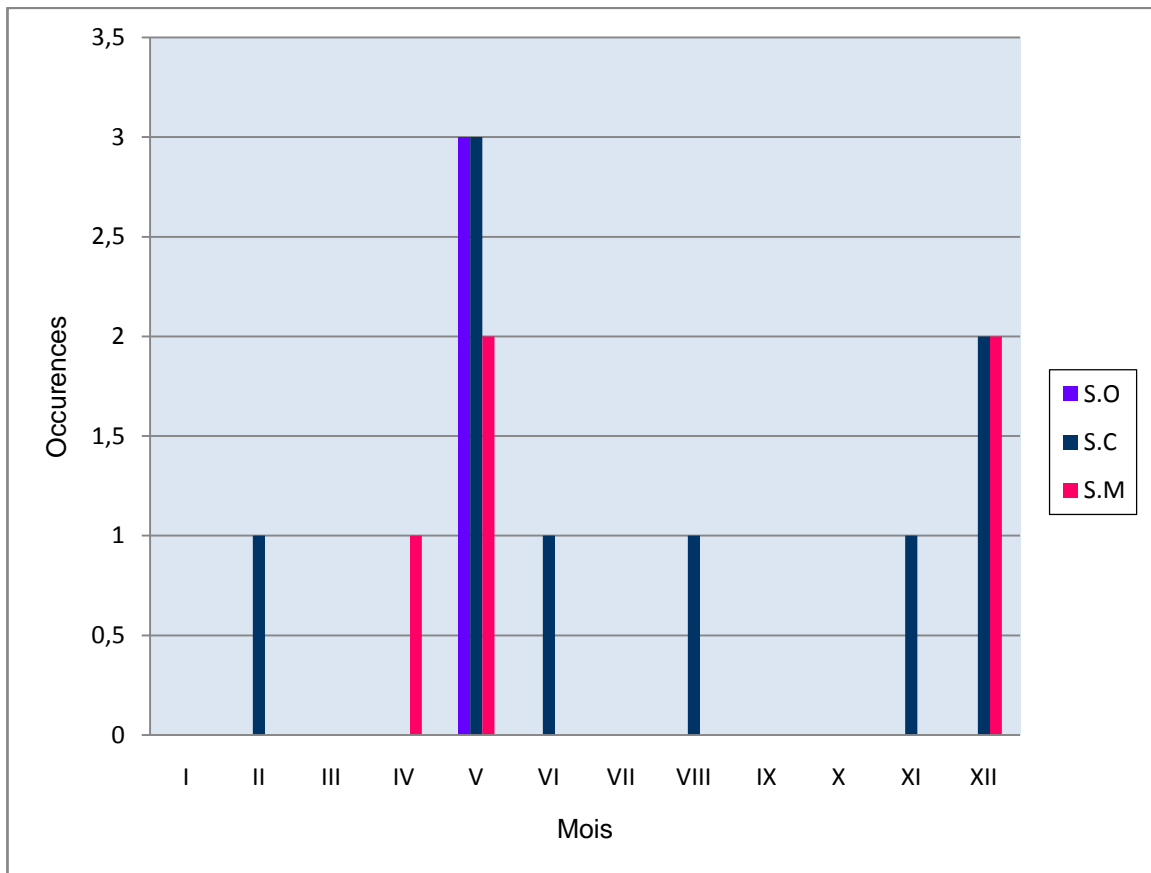
#### 4.1.3.4.- Larves et ailés grégaires

Les populations grégaires ne sont présentes que par des larves (L.G.). Aucun ailé n'a été vu (A.G.). Les larves L.G. se retrouvent au Sahara central en mai avec de faibles fréquences par rapport aux populations des solitaires (L.S.) et des transiens (L.T.). Elles demeurent absentes des autres secteurs du Sahara.

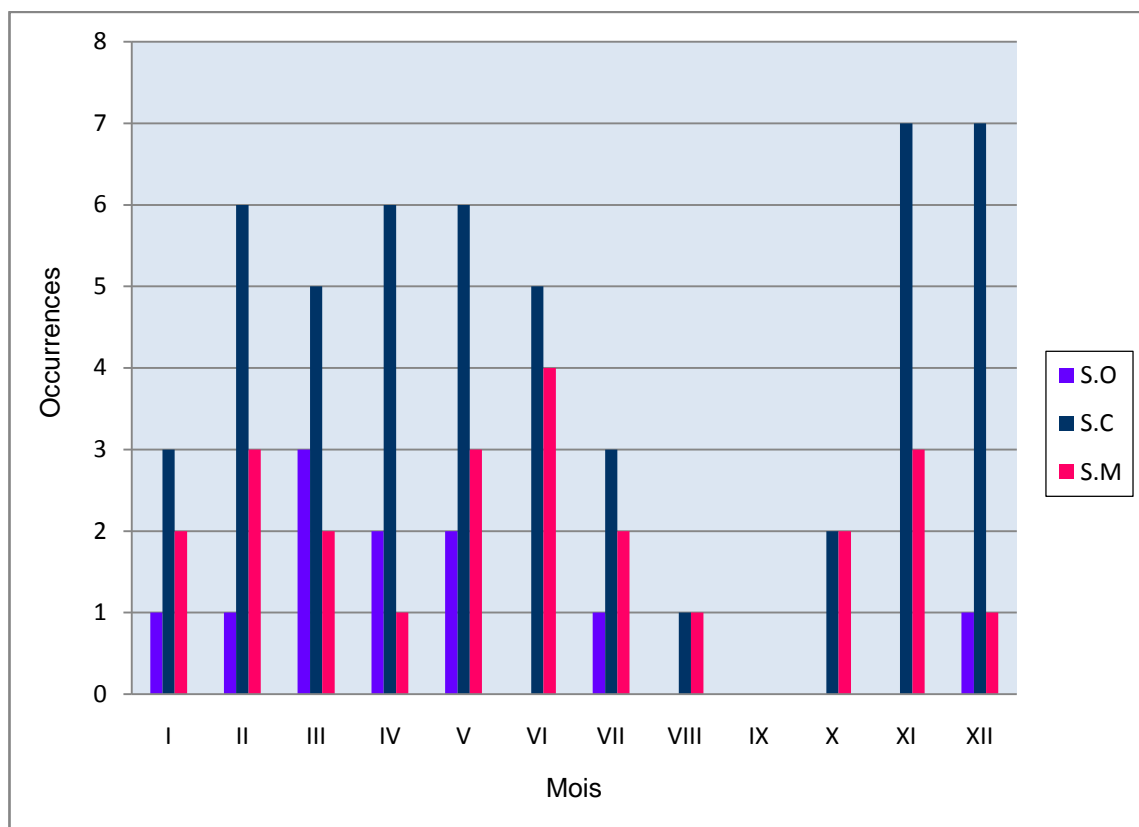
#### **4.1.4.- Action de la pluviométrie et de la température sur les populations de *S. gregaria***

L'étude de l'action des facteurs climatiques sur le processus de grégarisation s'est faite en calculant le coefficient de corrélation entre l'occurrence mensuelle de chaque stade phénologique et phasaire de *S. gregaria* avec les données mensuelles de la pluviométrie et de la température moyenne par secteur saharien pour la période d'étude (2007-2010). Les résultats de la corrélation, par facteur climatique et par secteur saharien, sont mis dans le tableau 22. Les résultats montrent que l'occurrence des populations du Criquet pèlerin corrèle positivement avec la pluviométrie et la température moyenne. Les coefficients les plus élevés sont obtenus pour le Sahara central et le Sahara méridional.

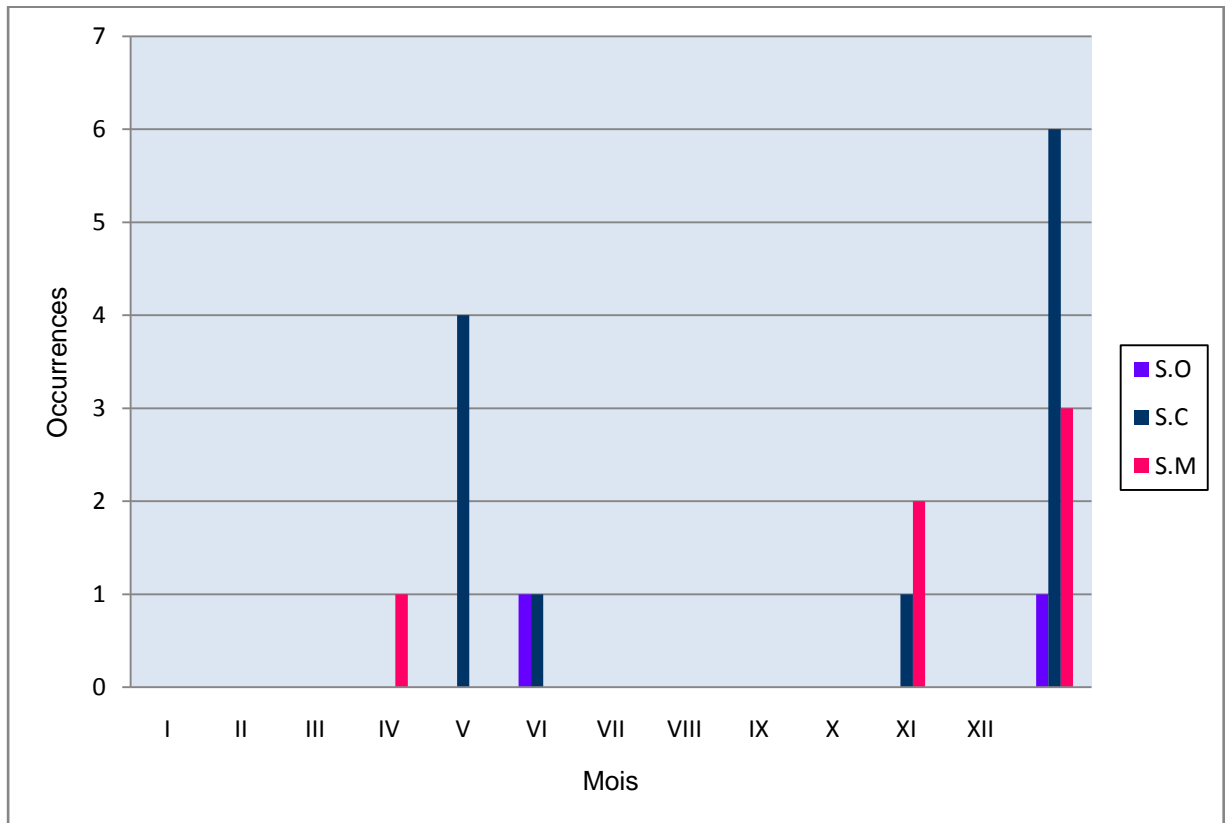
Afin d'affiner l'interprétation des résultats du tableau 22 et de juger par conséquent de la qualité de la corrélation, une analyse de la variance (Anova), au seuil de signification de 5 % est utilisée. D'une manière générale l'examen des résultats de l'analyse de la variance entre les différents stades du Criquet pèlerin et la pluviométrie montrent une hétérogénéité de signification entre les différents secteurs du Sahara.



**Figure 26** - Occurrence mensuelle des larves solitaires de *S. gregaria* dans le Sahara.  
 S.O : Sahara occidental ; S.C : Sahara central ; S.M : Sahara méridional

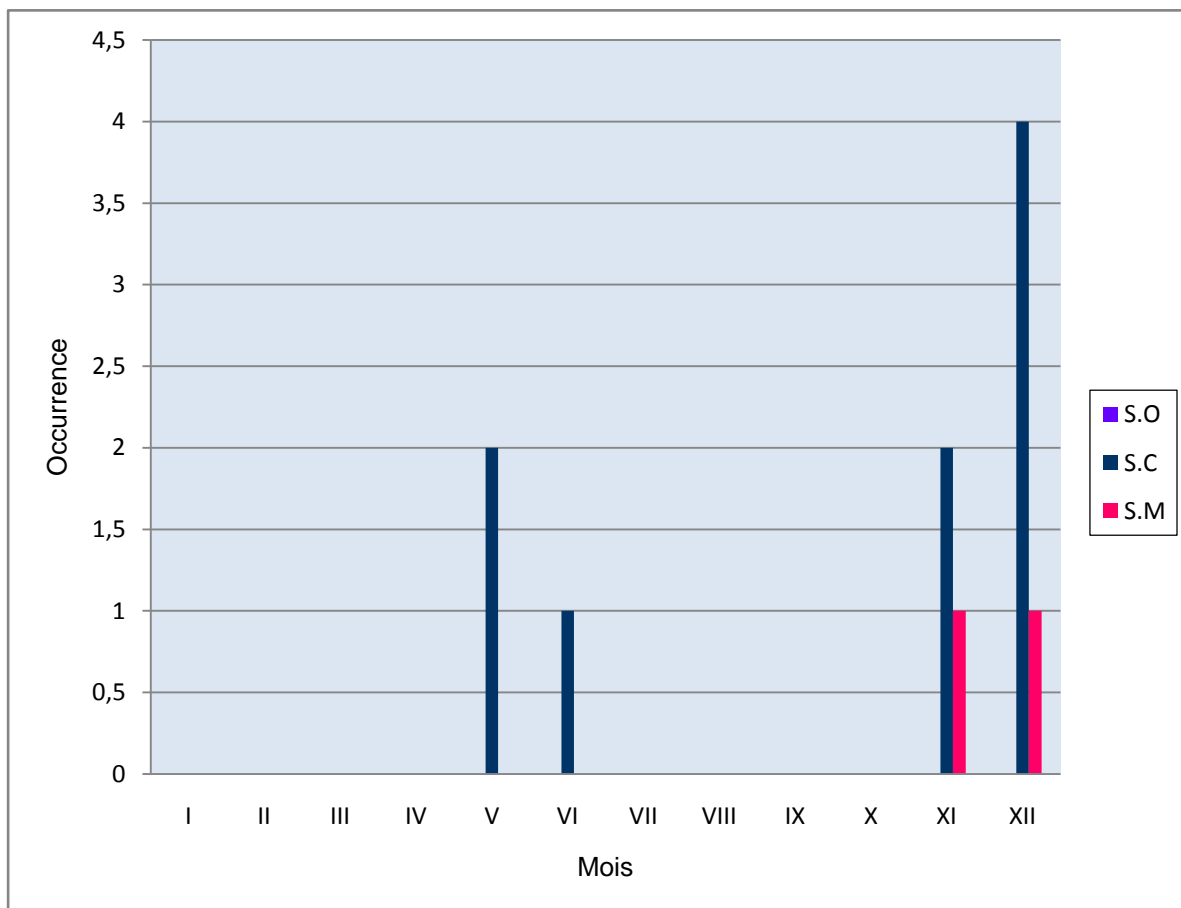


**Figure 27** - Occurrence mensuelle des ailés solitaires de *S. gregaria* dans le Sahara



**Figure 28** - Occurrence mensuelle des larves transiens de *S. gregaria* dans le Sahara





**Figure 29** - Occurrence mensuelle des ailés transiens de *S. gregaria* dans le Sahara

**Tableau 22** - Coefficient de corrélation de la pluviométrie et de la température avec les populations de *S. gregaria* (2007-2010)

Région	Paramètre	L.S	L.T	L.G	A.S	A.T	A.G
Occidental	P mm	0,338	0,29	0	0,046	0	0
	T°C	0,122	0,318	0	0,05	0	0
Central	P mm	0,349	0,332	0,204	0,393	0,424	0
	T°C	0,141	0,204	0,129	0,266	0,176	0
Méridional	P mm	0,402	0,291	0	0,264	0,255	0
	T°C	0,216	0,134	0	0,153	0,397	0

**P** : Pluviométrie (moyenne 2007-2010). **T°C** : Températures moyennes (moyenne 2007-2010)

Les tableaux 23 et 24 ci-dessous représentent les résultats de l'analyse statistique Anova portant sur les populations du Criquet pèlerin en utilisant les variables, pluviométrie et température.

**Tableau 23** – Analyse de la variance (Anova) des populations de *S. gregaria* et de la pluviométrie (mm) au seuil de signification de 5 % ( $p < 0,05$ )

Secteur	Stade	SC	MC	*Fobs	P	Signification
S.O	L.S	289,85	13,17	13,44	0,001	S
	L.T	282,51	12,84	14,65	0,0009	S
	A.S	292,51	13,29	10,25	0,005	S
	A.T	281,59	12,8	15,14	0,0007	S
S.C	L.S	119,68	5,44	1,84	0,188	N.S
	L.T	124,42	5,66	2,52	0,13	N.S
	A.S	171,67	7,8	3,75	0,06	N.S
	A.T	127,67	5,8	1,72	0,2	N.S
S.M	L.S	283,45	12,88	4,67	0,04	S
	L.T	280,78	12,76	5,22	0,03	S
	A.S	290,53	13,2	1,14	0,3	N.S
	A.T	278,19	12,64	5,54	0,03	S
S.C	L.G	110,34	5,01	4,59	0,04	S

F théo :valeur du test de Fisher théorique =4.3 ; ddl :degré de liberté =23; SC : sommes des carrés; MC : moyenne des carrés; Fobs : valeur du test de Fisher observée; P : probabilité; S: significative; N.S :N.S :non significative ; S.O :Sahara occidental ;S.C :Sahara central ;S.M :Sahara méridional.

Pour les populations du Criquet pèlerin du Sahara occidental les valeurs de p sont toutes inférieures au seuil de 5 % ( $F_{obs} > F_{théo}$ ,  $p < 0,05$ ), les résultats de la corrélation avec la pluviométrie sont donc significatifs notamment pour les larves solitaires ( $r = 0,338$ ,  $p = 0,001$ ) et les larves transiens ( $r = 0,290$ ,  $p = 0,0009$ ). Par contre, au Sahara central les résultats obtenus sont non significatifs, les valeurs de p sont supérieures au seuil de 5 %. Par contre dans le Sahara méridional les valeurs de p, proches du niveau de signification de 5 %, montrent que l'analyse faite est faiblement significative et non significative pour les ailés solitaires ( $r = 0,264$ ;  $p = 0,300$ ). Dans l'ensemble des cas les valeurs du F observé, comprises entre 1,14 et 15,14, sont légèrement supérieures au F théorique (4,3). La pluviométrie semble ne pas avoir d'effet important sur les présences mensuelles des individus du Criquet pèlerin. Par contre la température moyenne a un effet hautement significatif sur la présence de *S. gregaria* pour tous les stades phénologiques et phasaires. En effet, l'analyse de la variance donne des valeurs de p largement inférieures au seuil de 5 % ( $p = 0,000$ ). Les valeurs du F observé (73,94 à 168,59) sont largement supérieures à celle du F théorique (4,3). Quant aux valeurs du coefficient de corrélation, elles varient de 0,122 à 0,318 avec une faible valeur obtenue au Sahara occidental pour les ailés solitaires ( $r = 0,05$ ). A l'inverse de la pluviométrie, il existe une bonne corrélation entre la présence des individus du Criquet pèlerin et la température.

**Tableau 24** – Analyse de la variance (Anova) des populations de *S. gregaria* et de la température moyenne (°C) au seuil de signification de 5 % ( $p < 0,05$ )

Secteur	Stade	SC	MC	Fobs	P	Signification
S.O	L.S	791,09	35,96	94,15	0,000	S
	L.T	783,76	35,62	96,38	0,000	S
	A.S	793,76	36,08	88,64	0,000	S
	A.T	782,84	35,58	97,16	0,000	S
S.C	L.S	791,7	35,98	106,22	0,000	S
	L.T	796,35	36,19	107,69	0,000	S
	A.S	843,6	38,34	73,94	0,000	S
	A.T	799,6	36,34	105,16	0,000	S
S.M	L.S	410,43	18,65	162,79	0,000	S
	L.T	407,77	18,53	166,29	0,000	S
	A.S	417,52	18,97	138,3	0,000	S
	A.T	405,18	18,41	168,59	0,000	S
S.C	L.G	782,27	35,55	113,24	0,000	S

F théo : valeur du test de Fisher théorique = 4,3; ddl : degré de liberté = 23; SC : sommes des carrés; MC : moyenne des carrés; Fobs : valeur du test de Fisher observée; P : probabilité; S : significative.

#### 4.1.5. - Etude morphométrique des individus de *S. gregaria*

Les indices morphométriques calculées pour les individus capturés à Aoulef et à Zaouiet Kounta sont présentés. Ensuite, il est question de l'analyse en composantes principales (ACP) portant séparément sur les individus issus des deux régions précitées.

##### 4.1.5.1. - Indices morphométriques des individus d'Aoulef et de Zaouiet Kounta

Les individus pris en considération pour l'étude morphométrique proviennent du Sahara central, de la région d'Adrar, pendant deux périodes de l'année 2010, en avril-mai dans une palmeraie à Aoulef et en novembre-décembre au niveau de la zone des pivots de céréales à Zaouiet Kounta. 15 femelles et 15 mâles sont échantillonnés dans chaque station. Les moyennes des deux rapports morphométriques E/F et F/C obtenues pour les individus du Criquet pèlerin des deux stations sont rassemblés dans le tableau 25 (Tab. 26 et 27 en annexes).

**Tableau 25** - Indices morphométrique des individus de *S. gregaria* capturés à Aoulef et de Zaouiet Kounta

Région		Indices morphométriques			
		Mâles		Femelles	
		E/F	F/C	E/F	F/C
Aoulef	*Moyenne	2.20 ± 0.21	3.44 ± 0.50	2.31 ± 0.18	3.75 ± 0.41
	**Statut	Grégaires	Grégaires	Grégaires	Transiens
Zaouiet Kounta	Moyenne	2.19 ± 0.19	3.67 ± 0.33	2.09 ± 0.19	3.52 ± 0.28
	Statut	Grégaires	Transiens	Solitaires	Grégaires

\*Moyenne = mesure effectuée sur 15 individus ± écart type. \*\*Statut des individus par rapport aux indices morphométriques de Dirsh (1953). E/F : rapport de la longueur de l'élytre et de la longueur du fémur postérieur; F/C : rapport de la longueur du fémur postérieur et de la largeur maximale de la tête.

La comparaison des indices morphométriques cités dans le tableau 25 avec ceux de l'échelle de Dirsh (1953), montre que les résultats obtenus correspondent aux phases solitaire, transiens dégréants et grégaire.

Les individus mâles d'Aoulef sont en phase grégaire ( $2,14 < E/F < 2,28$ ;  $3,03 < F/C < 3,61$ ), alors que les femelles sont en phase transiens d'après la moyenne du rapport F/C ( $3,71 < F/C < 3,86$ ).

La moyenne du rapport F/C indique que les individus mâles de Zaouiet Kounta sont en phase transiens dégréés alors que les individus femelles sont en phase solitaire selon la moyenne du rapport E/F ( $2,02 < F/C < 2,09$ ).

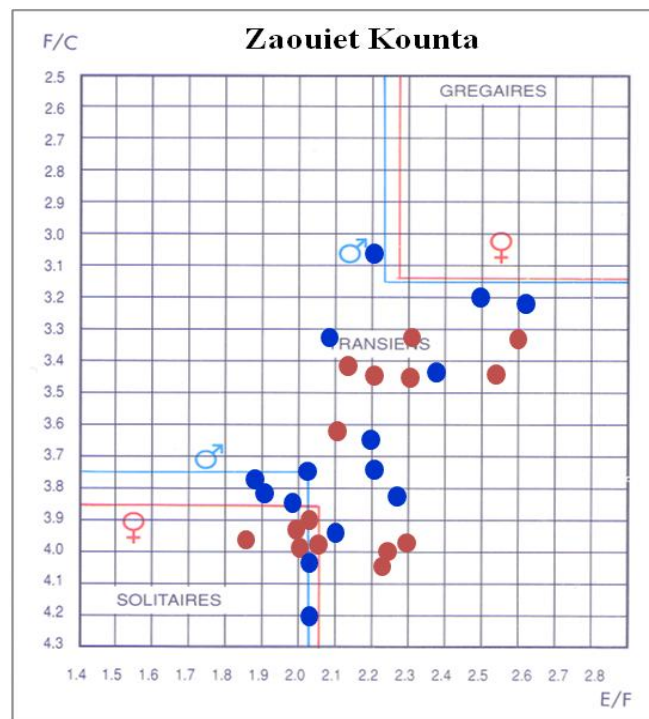
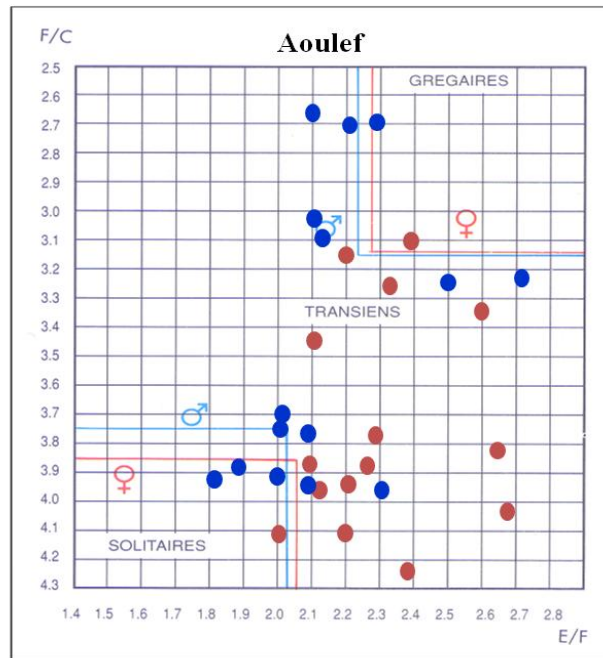
L'examen de l'abaque morphométrique de Rungs (1954), montre que les populations capturées à Adrar sont très hétérogènes (Fig. 30). En effet à Aoulef, les populations sont constituées par des individus typiquement solitaires (1 femelle et 4 mâles), transiens dégréés, transiens congregans (6 mâles et 3 femelles) et de 2 individus grégaires (1 femelle et 1 mâle). A Zaouiet Kounta, les populations sont constituées d'individus solitaires, transiens dégréés et de quelques individus en phase transiens congregans.

#### 4.1.5.2. - Analyse en composantes Principale ACP

Afin d'affiner l'interprétation des résultats obtenus par l'étude morphométrique des populations du Criquet pèlerin, il est fait recours à une analyse en composantes principales (ACP). L'ACP permet de synthétiser un ensemble de données et d'identifier les axes principaux qui expliquent le mieux les corrélations entre les variables descriptives. Pour la présente étude, les coordonnées des variables actives sont "mâle" (M), "femelle" (F), E, F, C, E/F et F/C, extraites suite à l'étude des corrélations puis elles ont été projetées dans un cercle de corrélation des axes principaux. Les variables se représentent par des vecteurs. Plus elles sont proches d'un axe, plus elles y contribuent et plus elles sont proches de la circonférence, mieux elles sont expliquées par le plan formé par les deux axes. L'ACP est réalisé séparément pour les individus issus d'Aoulef et de Zaouiet Kounta.

##### 4.1.5.2.1 - ACP des individus capturés à Zaouiet Kounta

La figure 31 représente la projection des variables sur le plan factoriel 1 x 2, elle montre que l'axe 1 représente 27,9 % alors que l'axe 2 représente 24,4 %, ce qui donne pour le plan (Fact.1 x Fact2) un taux de représentation de 52,3 %. Selon la table des quantiles à 95 % pour un nombre de variables égale à 10 et un nombre d'individus de 15, le taux théorique est de 51,5 %. Par conséquent le taux obtenu pour les individus est supérieur au taux théorique minimum. Les tableaux 28 et 29 représentent respectivement la corrélation des variables et des facteurs et la qualité de projection des variables. Pour ce qui est des données de la matrice de corrélation entre les variables étudiées elles sont consignées dans le tableau 30.



**Figure 30** - Abaque morphométrique des individus de *S. gregaria* d'Aoulef et de Zaouiet Kounta ● Femelles. ● Mâles

Les résultats consignés dans le tableau 28 montrent que les variables E(M), C(M) et E/ F(M) sont négativement bien corrélées avec l'axe 1. Cela signifie que les individus qui ont de faibles coordonnées sur l'axe 1 ont de fortes valeurs pour les variables suscitées et inversement. Les résultats du tableau 29 montrent que ces valeurs sont bien projetées et donc peuvent être interprétées. L'axe 1 représente donc ces 3 variables. Les variables E(F) et F3(M) sont positivement bien corrélées avec l'axe 2 et donc représentent cet axe. La projection des individus sur le plan factoriel montre que l'individu mâle 14 a la plus grande coordonnée sur l'axe 1, donc ces valeurs pour les variables E(M), C(M) et E/ F(M) sont faibles (Fig. 32). Par contre, les individus mâle 2 et 13 ont de faibles coordonnées sur l'axe 1, donc leurs valeurs pour les variables E(M), C(M) et E/ F(M) sont fortes. En conséquence l'analyse des proximités des individus expliquées par l'axe 1 fait ressortir 3 groupes constitués que par des mâles.

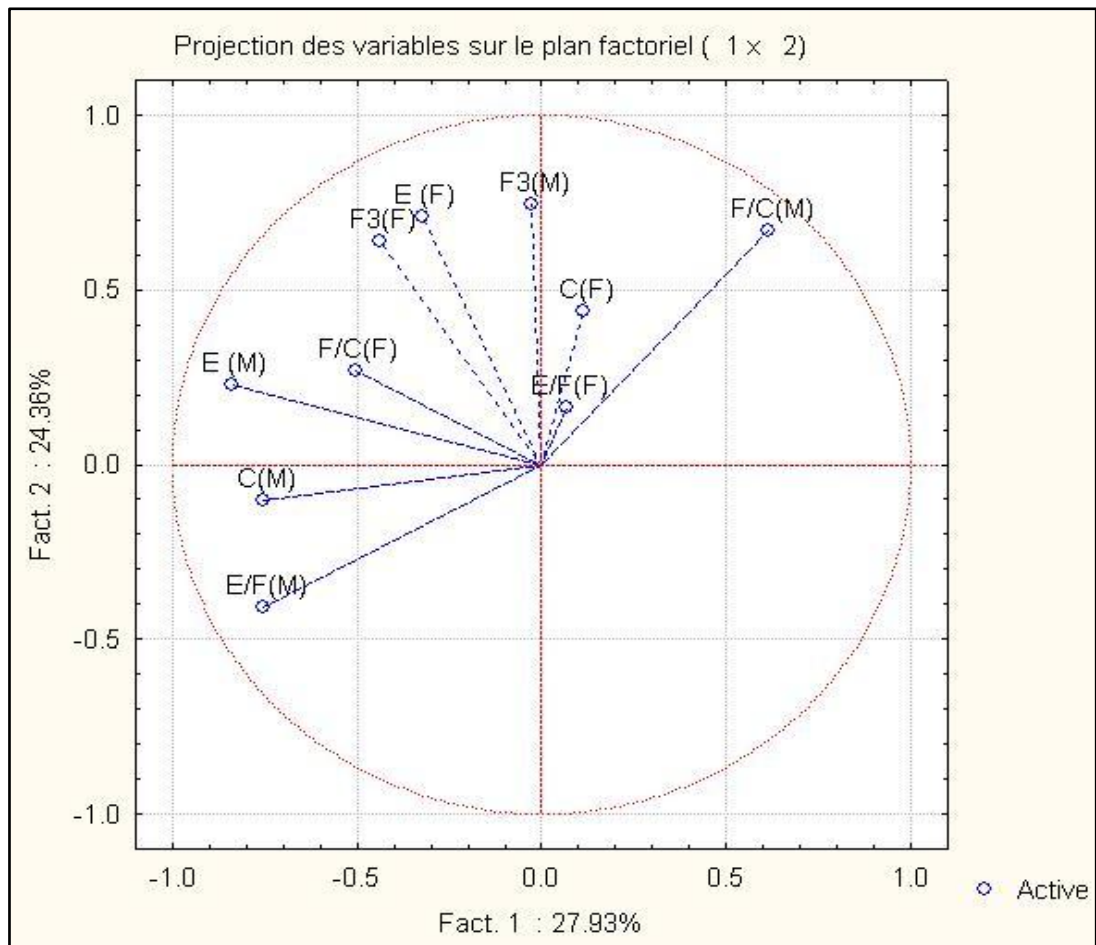
**Tableau 28 - Qualité de projection des variables morphométriques (Cos<sup>2</sup>)**

	Avec 1	Avec 2	Avec 3	Avec 4	Avec 5	Avec 6	Avec 7	Avec 8	Avec 9	Fact.10
<b>E (F)</b>	0.10476	0.611084	0.839406	0.900853	0.937891	0.99975	0.999808	0.999846	0.999999	1
<b>F3(F)</b>	0.192785	0.598652	0.789826	0.987121	0.995971	0.999851	0.999971	0.99999	0.999991	1
<b>C(F)</b>	0.012406	0.20617	0.422209	0.755698	0.965141	0.999925	0.999935	0.999937	0.999997	1
<b>E/F(F)</b>	0.004507	0.030564	0.831342	0.863214	0.955386	0.999776	0.999823	0.999855	0.999999	1
<b>F/C(F)</b>	0.254569	0.327491	0.909418	0.911253	0.963374	0.999867	0.999882	0.999882	0.999994	1
<b>E (M)</b>	0.70496	0.756829	0.791132	0.855482	0.878198	0.99978	0.999786	0.999976	0.999999	1
<b>F3(M)</b>	0.000724	0.55485	0.55578	0.959816	0.990049	0.999616	0.999946	0.999978	0.999998	1
<b>C(M)</b>	0.570814	0.581121	0.600805	0.7713	0.97295	0.999617	0.999944	0.999999	0.999999	1
<b>E/F(M)</b>	0.568569	0.737147	0.78258	0.86292	0.947098	0.999739	0.999748	0.999972	0.999999	1
<b>F/C(M)</b>	0.379141	0.825482	0.858954	0.877473	0.952033	0.999503	0.999925	0.999999	0.999999	1

**Tableau 29 - Matrice de corrélation des variables morphométriques**

Variables	<b>E (F)</b>	<b>F3(F)</b>	<b>C(F)</b>	<b>E/F(F)</b>	<b>F/C(F)</b>	<b>E (M)</b>	<b>F3(M)</b>	<b>C(M)</b>	<b>E/F(M)</b>	<b>F/C(M)</b>
<b>E (F)</b>	1.000000									
<b>F3(F)</b>	0.493882	1.000000								
<b>C(F)</b>	0.507876	0.316215	1.000000							
<b>E/F(F)</b>	0.587062	-0.412529	0.213209	1.000000						
<b>F/C(F)</b>	0.092911	0.736521	-0.407171	-0.570905	1.000000					
<b>E (M)</b>	0.401759	0.284110	-0.057590	0.163677	0.300825	1.000000				
<b>F3(M)</b>	0.308352	0.227529	0.041166	0.131252	0.152137	0.355478	1.000000			
<b>C(M)</b>	0.091262	0.074555	-0.126960	0.030148	0.157822	0.617279	0.264760	1.000000		
<b>E/F(M)</b>	0.122733	0.060713	-0.091982	0.063026	0.141470	0.630659	-0.499852	0.356543	1.000000	
<b>F/C(M)</b>	0.153399	0.135369	0.114789	0.046668	0.024276	-0.247137	0.546339	-0.660273	-0.686892	1.000000

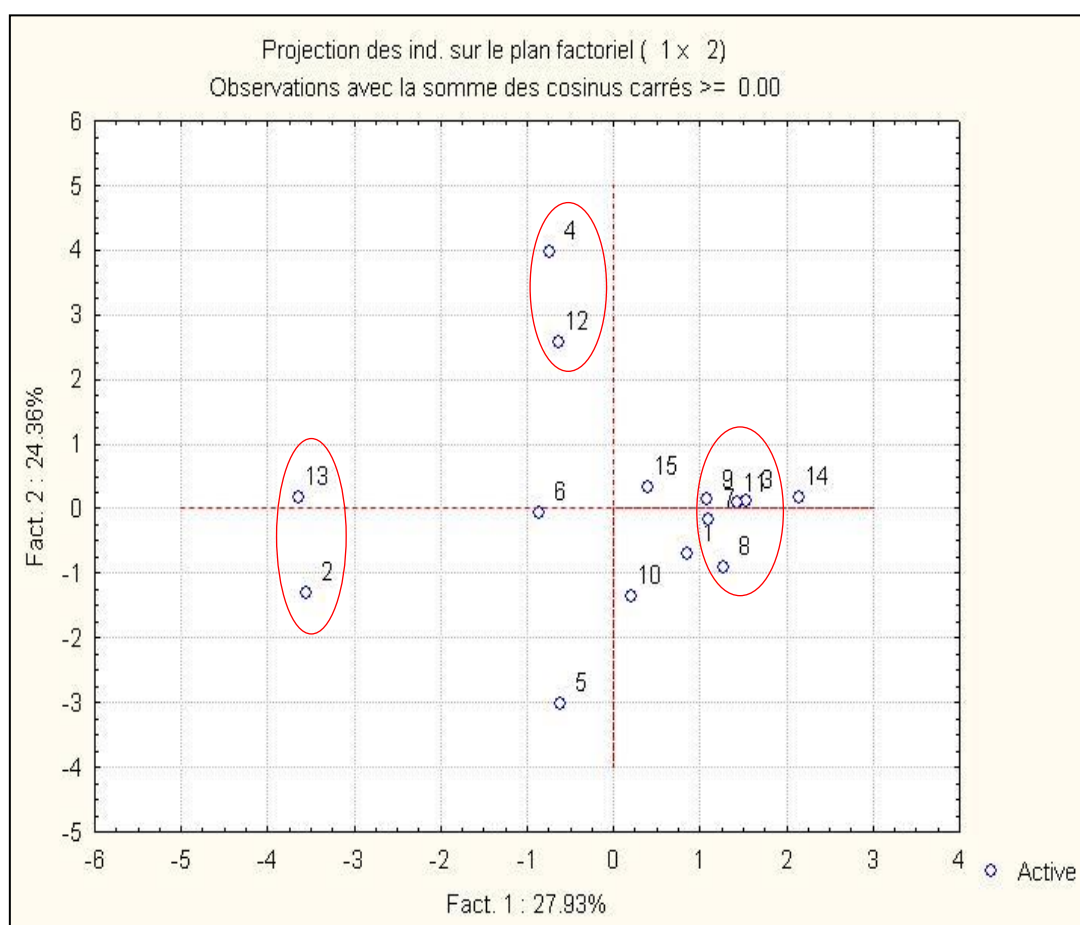




**Figure 31** - Projection des variables E, F, C, E/F et F/C sur le plan factoriel (Fact.1 x Fact.2.)

**Tableau 30** - Matrice de corrélation des variables morphométriques

Variables	E (F)	F3(F)	C(F)	E/F(F)	F/C(F)	E (M)	F3(M)	C(M)	E/F(M)	F/C(M)
E (F)	1.000000									
F3(F)	0.493882	1.000000								
C(F)	0.507876	0.316215	1.000000							
E/F(F)	0.587062	-0.412529	0.213209	1.000000						
F/C(F)	0.092911	0.736521	-0.407171	-0.570905	1.000000					
E (M)	0.401759	0.284110	-0.057590	0.163677	0.300825	1.000000				
F3(M)	0.308352	0.227529	0.041166	0.131252	0.152137	0.355478	1.000000			
C(M)	0.091262	0.074555	-0.126960	0.030148	0.157822	0.617279	0.264760	1.000000		
E/F(M)	0.122733	0.060713	-0.091982	0.063026	0.141470	0.630659	-0.499852	0.356543	1.000000	
F/C(M)	0.153399	0.135369	0.114789	0.046668	0.024276	-0.247137	0.546339	-0.660273	-0.686892	1.000000



**Figure 32** - Projection des individus de *S. gregaria* sur le plan factoriel (Fact1 x Fact2)

#### 4.1.5.2.2. - ACP des individus capturés à Aoulef

La figure 33 relative à la projection des variables sur le plan factoriel montre que l'axe 1 représente 34,5 % alors que l'axe 2 représente 23,3 %, ce qui donne pour le plan (Fact.1 x Fact.2) un taux de représentation de 57,8 % supérieur au taux théorique minimum. Les résultats de la corrélation des variables et des facteurs consignés dans le tableau 31, montrent que les variables C(M) et E/F(M) sont négativement bien corrélées avec l'axe 1 alors que la variable F/C (M) est positivement bien corrélée avec cet axe. Cela veut dire que les individus qui ont de faibles coordonnées sur l'axe 1 ont de forte valeur pour les variables C(M) et E/F(M) et de faible valeur pour la variable F/C(M).

**Tableau 31** - Corrélation des variables morphométriques et des facteurs

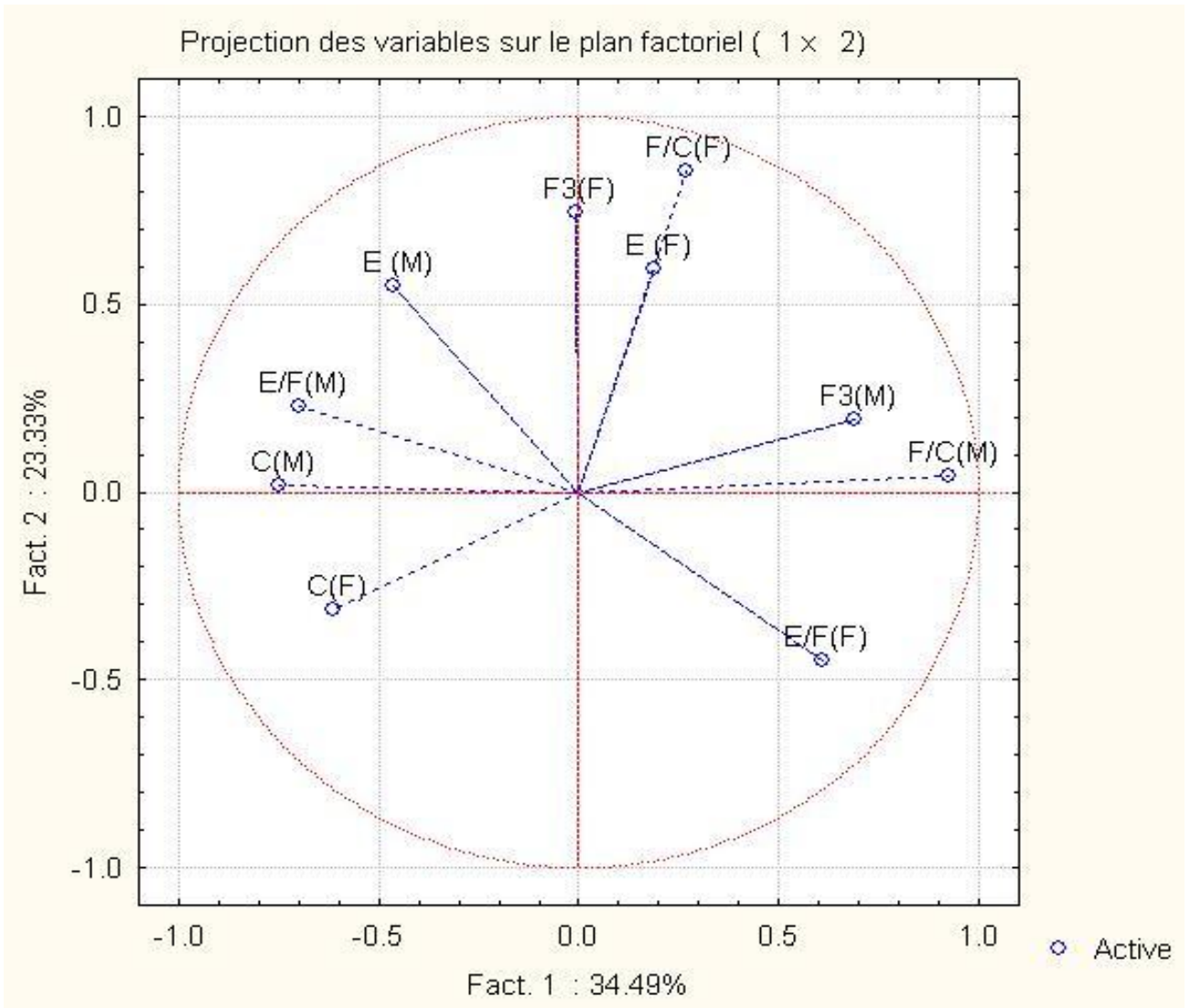
	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4	Fact. 5	Fact. 6	Fact. 7	Fact. 8	Fact. 9	Fact.10
<b>E (F)</b>	0.189657	0.592480	0.640467	-0.291555	-0.122261	-0.232092	0.213802	0.056148	-0.010669	-0.001603
<b>F3(F)</b>	-0.006106	0.744438	0.146546	-0.536076	0.197149	0.146205	-0.275827	0.010075	-0.022272	-0.000882
<b>C(F)</b>	-0.614032	-0.313926	0.543422	-0.417375	-0.096004	0.155844	0.103356	-0.097982	0.033189	0.004134
<b>E/F(F)</b>	0.611431	-0.448057	-0.090673	-0.344434	-0.440428	-0.270635	-0.169147	-0.047525	-0.021220	0.000588
<b>F/C(F)</b>	0.266315	0.857293	-0.015528	0.382576	0.122193	-0.137667	0.004156	-0.116520	0.005193	0.003777
<b>E (M)</b>	-0.461364	0.547981	-0.473807	-0.082950	-0.496569	0.013459	-0.011819	0.020572	0.090316	-0.002124
<b>F3(M)</b>	0.688968	0.194209	0.278659	0.278042	-0.497884	0.288470	0.006027	0.011610	-0.035592	0.010344
<b>C(M)</b>	-0.748664	0.018233	0.458078	0.384364	-0.254504	-0.018684	-0.121919	-0.009568	-0.033648	-0.019735
<b>E/F(M)</b>	-0.696850	0.230228	-0.601907	-0.212054	-0.148150	0.020047	0.146538	-0.021265	-0.099282	0.001517
<b>F/C(M)</b>	0.926285	0.041200	-0.231459	-0.200144	0.024119	0.162138	0.134709	-0.033631	0.006124	-0.021972

Cependant l'examen des données portées sur le tableau 32 montre que seule la variable F/C(M) est bien projetée et donc peut être interprétée. L'axe 1 représente donc cette variable. Les données de la matrice de corrélation entre les variables étudiées utilisées pour l'interprétation sont consignées dans le tableau 33. La projection des individus sur le plan factoriel révèle que l'individu 1 a la plus faible coordonnée sur l'axe 1 (Fig. 34), donc ces valeurs pour les variables C(M) et E/F(M) sont élevées. Cependant il aura une faible valeur pour la variable F/C(M). Les individus 2 et 11 ont des coordonnées élevées sur l'axe 1, donc leurs valeurs pour les variables C(M) et E/F(M) sont faibles alors qu'ils ont des valeurs élevées pour la variable F/C(M). Ceci signifie aussi que ce qui oppose l'individu 1 à l'individu 2 est la variable F/C(M).

L'analyse de la projection des variables amène à construire 3 groupes. Sachant que ces groupes d'individus ne sont composés que par des individus mâles. Cette projection est semblable à celle obtenue pour les individus d'Aoulef.

**Tableau 32 - Qualité de projection des variables morphométriques**

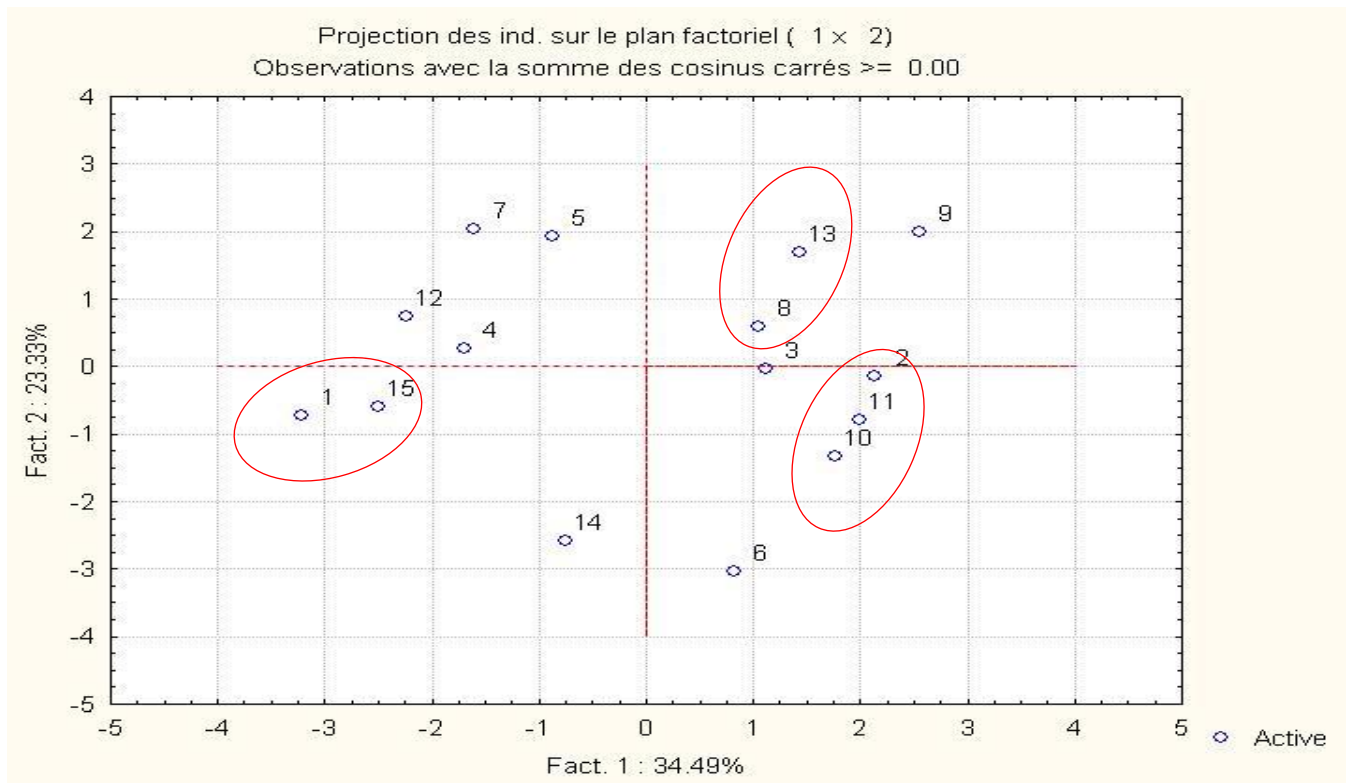
	Avec 1	Avec 2	Avec 3	Avec 4	Avec 5	Avec 6	Avec 7	Avec 8	Avec 9	Fact.10
<b>E (F)</b>	0.035970	0.387003	0.797201	0.882205	0.897153	0.951019	0.996731	0.999884	0.999997	1.000000
<b>F3(F)</b>	0.000037	0.554224	0.575700	0.863077	0.901945	0.923321	0.999402	0.999503	0.999999	1.000000
<b>C(F)</b>	0.377035	0.475584	0.770892	0.945094	0.954311	0.978598	0.989281	0.998881	0.999983	1.000000
<b>E/F(F)</b>	0.373848	0.574603	0.582825	0.701460	0.895437	0.968680	0.997291	0.999549	1.000000	1.000000
<b>F/C(F)</b>	0.070924	0.805876	0.806117	0.952481	0.967413	0.986365	0.986382	0.999959	0.999986	1.000000
<b>E (M)</b>	0.212857	0.513140	0.737633	0.744513	0.991095	0.991276	0.991415	0.991839	0.999995	1.000000
<b>F3(M)</b>	0.474677	0.512394	0.590045	0.667352	0.915240	0.998455	0.998491	0.998626	0.999893	1.000000
<b>C(M)</b>	0.560498	0.560830	0.770666	0.918401	0.983173	0.983523	0.998387	0.998478	0.999611	1.000000
<b>E/F(M)</b>	0.485600	0.538605	0.900898	0.945865	0.967813	0.968215	0.989689	0.990141	0.999998	1.000000
<b>F/C(M)</b>	0.858003	0.859701	0.913274	0.953332	0.953913	0.980202	0.998349	0.999480	0.999517	1.000000



**Figure 33** - Projection des variables E, F, C, E/F et F/C sur le plan (Fact.1 x Fact2.)

**Tableau 33** - Matrice de corrélation entre les variables morphométriques. **M** : mâle ; **F** : femelle

Variable	E (F)	F3(F)	C(F)	E/F(F)	F/C(F)	E (M)	F3(M)	C(M)	E/F(M)	F/C(M)
E (F)	1.000000									
F3(F)	0.573856	1.000000								
C(F)	0.159085	0.047052	1.000000							
E/F(F)	-0.029103	-0.245679	-0.153719	1.000000						
F/C(F)	0.448247	0.430734	-0.621920	-0.363481	1.000000					
E (M)	0.013149	0.291315	-0.062067	-0.241922	0.258020	1.000000				
F3(M)	0.339364	-0.024589	-0.357532	0.353608	0.349997	-0.118489	1.000000			
C(M)	0.059373	-0.139382	0.551145	-0.500923	-0.071981	0.230849	-0.156277	1.000000		
E/F(M)	-0.274780	0.136415	0.148318	-0.363459	-0.078275	0.813137	-0.578352	0.191657	1.000000	
F/C(M)	0.096501	0.089237	-0.583663	0.561989	0.194081	-0.289988	0.560775	-0.900721	-0.434747	1.000000



**Figure 34** - Projection des individus du Criquet pèlerin sur le plan factoriel ((Fact1 x Fact2)

## 4.2. –Biotopes naturels et foyers de grégarisation potentiels au Sahara

### 4.2.1. - Traitement de l'image satellitaire Landsat TM

Il y est présenté les caractéristiques géographique de l'image Landsat TM de l'aire d'étude au Sahara .Il est question ensuite de la composition coloré de l'image Landsat TM, de l'indice de végétation NDVI, de l'indice de brillance des sols et enfin de l'indice de rougeur.

#### 4.2.1.1. – Caractéristiques géographique de l'image Landsat TM

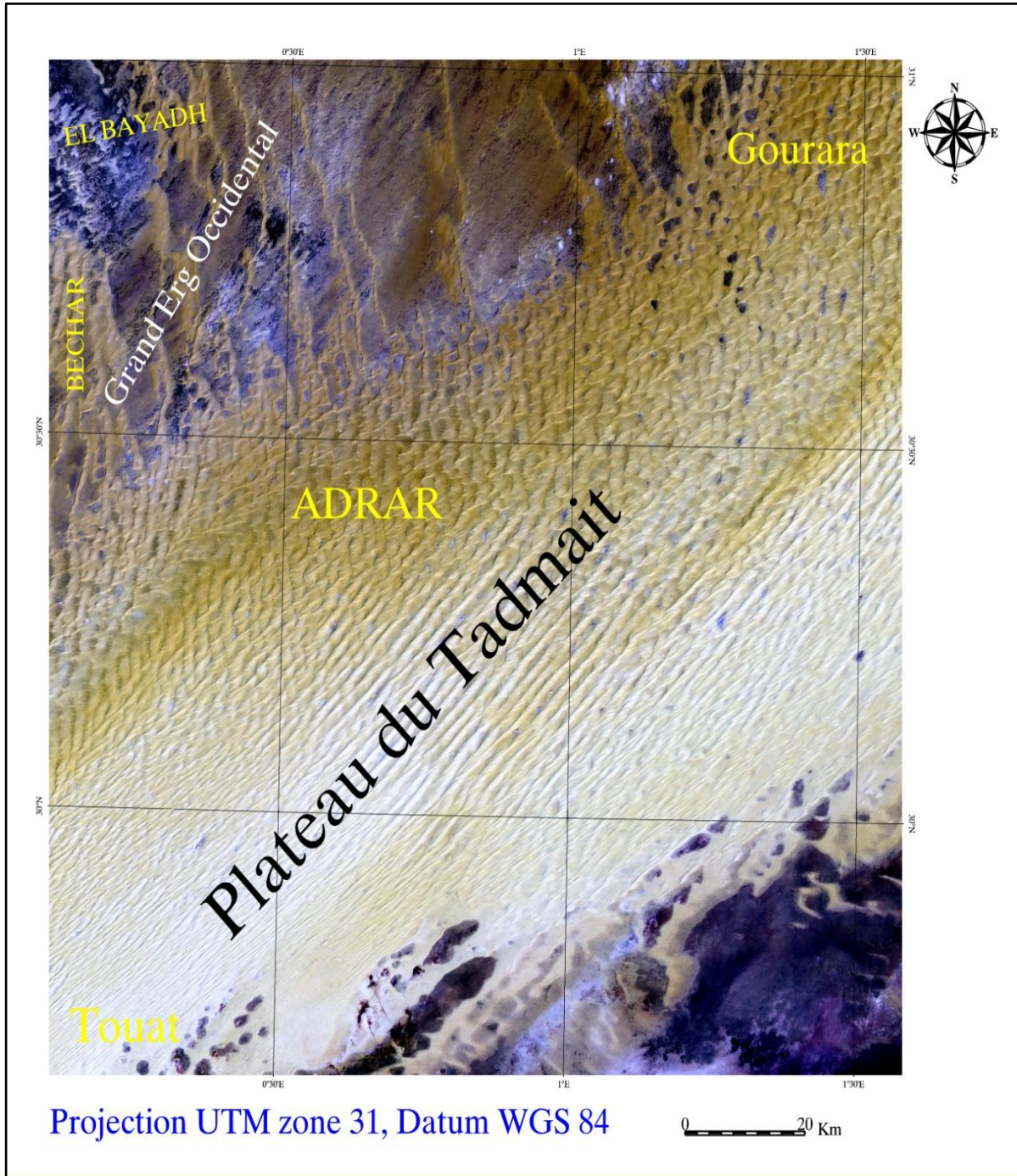
Le tableau 34 ci-dessous comporte les caractéristiques géographiques de l'image satellitaire Landsat TM utilisée pour l'identification des biotopes naturels et des foyers de grégarisation potentiels du Criquet pèlerin. L'aire couverte par l'image Landsat s'étend sur 21.450,72 km<sup>2</sup> soit 2145072 ha. Cette aire couvre une partie du Sahara occidental, représentée par l'Erg occidental . Ce dernier couvre sur l'image Landsat les limites méridionales de Béchar et d'El Bayadh. Cette aire s'étend entre 30° et 31° 06' de latitude Nord et 0° 09' à 1° de longitude Est. La seconde aire, la plus vaste sur l'image, couvre la partie Nord du Sahara Central .Elle est représentée par le plateau de Tadmaït principalement par le Gourara dans la région d'Adrar. Ce secteur s'étend entre 29° 64' et 31° 06' de latitude Nord et 0° 09' à 1° 59' (Fig. 35).

**Tableau 34 -** Caractéristiques géographiques de l'image Landsat TM

Date de l'image	Latitude N	Longitude E	Equivalent Pixels		
			Nombre	Km <sup>2</sup>	Ha
09 Avril 2007	29°64'-31°.03	0°09'-1°59'	23834135	21450,7215	2145072,15

#### 4.2.1.2. - Composition coloré de l'image Landsat TM

L'image satellitaire Landsat se présente, à l'origine, sous la forme de valeurs numériques qui traduisent la radiométrie émise par des portions élémentaires, ou pixels, de la surface terrestre dans différentes bandes spectrales. Le recours à la réalisation d'une composition colorée permet d'obtenir une restitution visible de ces valeurs numériques.



**Figure 35** - Composition colorée de l'image Landsat TM du 9 Avril 2007 du secteur d'étude



Après un prétraitement de l'image par la correction géométrique et la correction radiométrique, les données en compte numérique du pixel sont converties en luminance puis en valeurs radiométriques. Cette correction est indispensable pour le traitement de l'image. La composition colorée est le résultat de la superposition des trois canaux bleu, vert et rouge qui sont combinés afin d'obtenir une image trichrome.

#### 4.2.1.3. - Indice de végétation NDVI

Les valeurs de l'indice de végétation NDVI de l'aire d'étude sont calculées dans les spectres rouge et infrarouge. C'est entre ces deux spectres que les plus grands écarts de réflectance entre la végétation et les sols sont observés. La composition colorée de l'image satellite a permis l'obtention d'une image satellitaire et lisible après traitement multi-spectral. L'examen de la figure 36 révèle que le NDVI varie de - 0.07 à 0.40 sachant que les valeurs du NDVI se situent sur une échelle de -1 à 1 où la valeur des pixels augmente avec la présence de végétation. Les différentes classes des valeurs du NDVI de l'aire d'étude sont consignées dans le tableau 35. L'image traitée donne 7 classes de valeurs du NDVI pour l'aire d'étude.

**Tableau 35** - Classification des valeurs de l'indice de végétation NDVI de l'aire d'étude

Indice	Classe	1	2	3	4	5	6	7
NDVI	<b>valeur</b>	-0.07- 0.09	0.09-0.14	0.14-0.19	0.19-0.25	0.25-0.30	0.30-0.40	0.35-0.40
	<b>Couleur</b>	Violet	Bleu foncé	Bleu ciel	Vert clair	Vert	Jaune orange	Rouge
	<b>Thème</b>	Eau (valeur négatif)	Sols nus, roche				végétation clair à dense	

La végétation est représentée par des hautes valeurs dans le proche infrarouge, qui apparaît en rouge sur l'image. A l'exception des valeurs négatives, observées par la couleur violette qui représente l'eau, le reste des couleurs correspondent aux sols nus. Les valeurs négatives sont essentiellement générées par l'eau et les valeurs proches de zéro essentiellement générées par la roche et le sol nu. Les très faibles valeurs de l'indice NDVI ( $\leq 0,1$ ) correspondent aux surfaces stériles de roche ou de sable. Les valeurs modérées représentent des zones à végétation faible (0,3 à 0,35), alors que les valeurs élevées indiquent une végétation assez dense (0,40).

Cependant ces valeurs obtenues pour l'aire d'étude sont faibles comparativement à celles obtenus dans les régions humides hors Sahara où elles peuvent atteindre des valeurs proche de 1.

#### 4.2.1.4. - Indice de brillance des sols

Le calcul de cet indice est réalisé en utilisant le canal vert, le canal rouge et le proche infrarouge. L'interprétation de l'image montre que les valeurs de l'indice de brillance de l'aire d'étude varient entre 73 et 226 (Fig. 37). Les faibles valeurs, comprises entre 73 et 119 s'observent dans les extrémités de l'aire d'étude. Elles traduisent la présence d'humidité des sols, suite par exemple à une précipitation, de sebkhas, des regs et des sols calcaires et gréseux. Par contre les valeurs élevées de l'indice de brillance (169-226) reflètent la dominance de l'ensablement et des dunes de sable et une baisse ou l'absence du couvert végétal. En suivant les variations de l'indice de coloration, il est alors possible de suivre ces modifications.

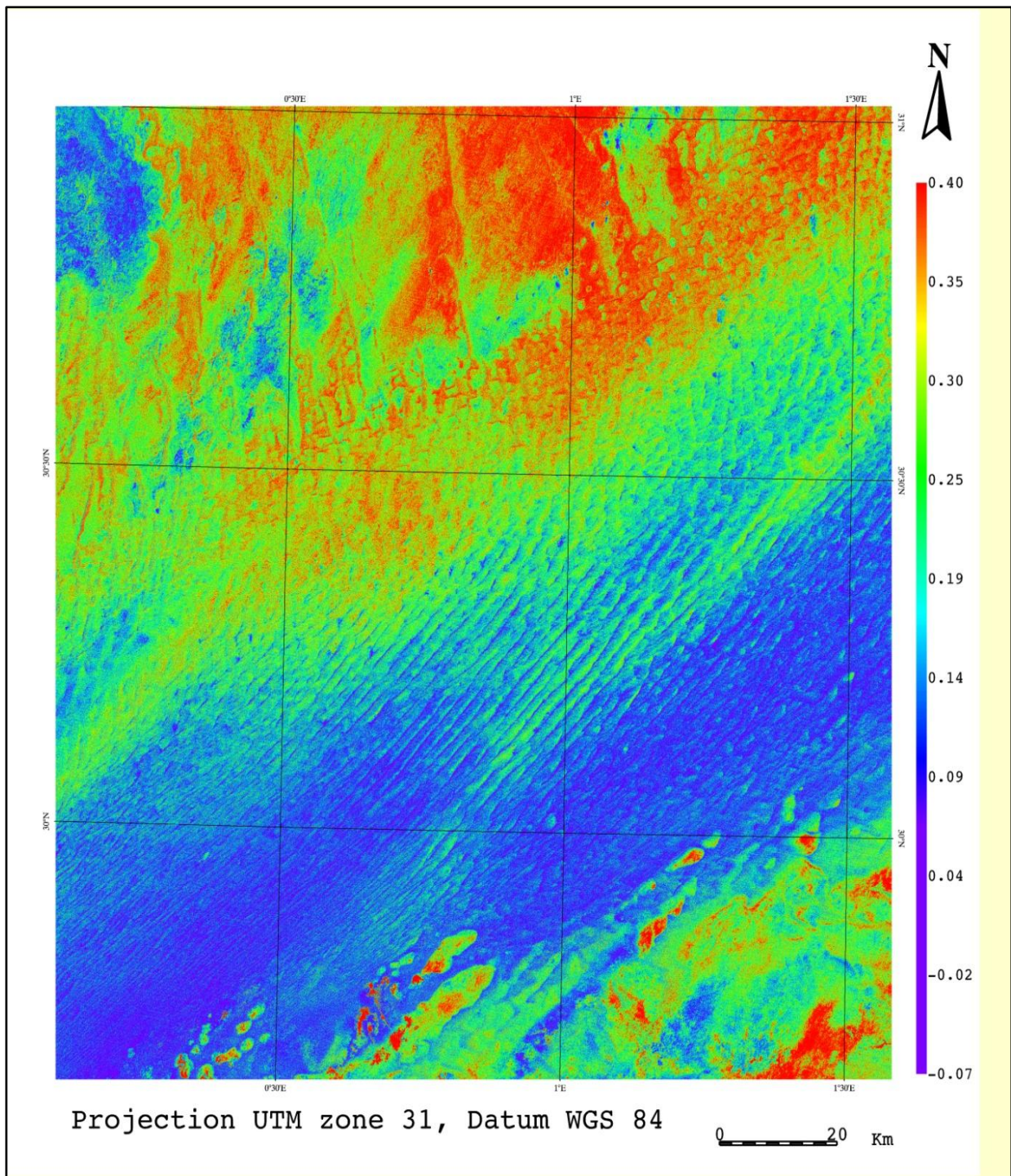
#### 4.2.1.5 - Indice de rougeur

L'indice de rougeur est utilisé en raison de sa capacité à mettre en évidence les caractéristiques du sol en évitant les influences de la couverture végétale. Les résultats de l'indice de rougeur illustré par la figure 38 montrent la dominance de l'ensablement dans la partie central du Sahara avec des valeurs de l'indice de rougeur inférieures à 20.

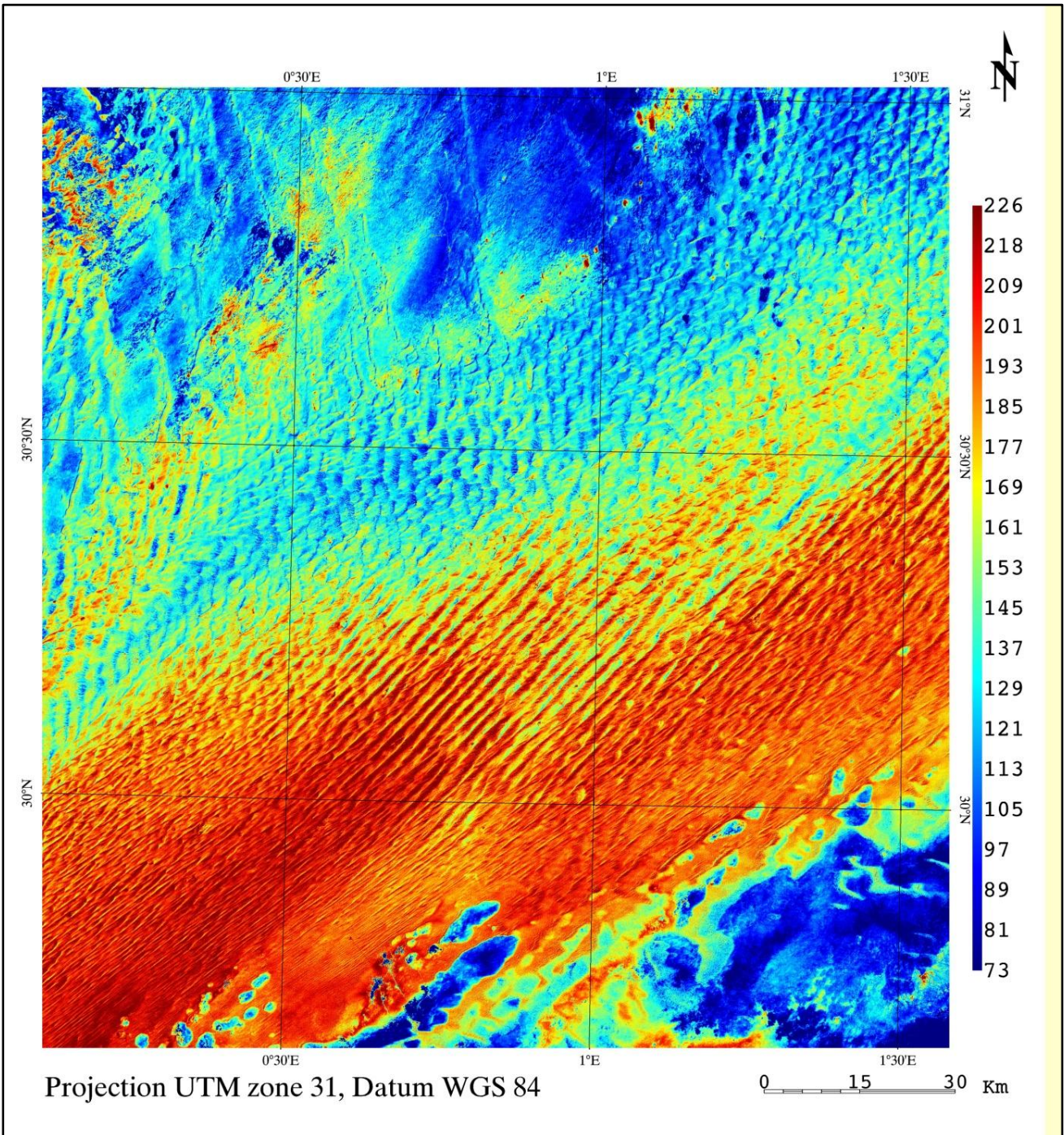
### **4.2.2. - Carte d'occupation du sol et biotopes naturels**

Classifier une image consiste à rassembler l'ensemble des pixels de l'image en un nombre limité de classes correspondant aux grands éléments structuraux de l'image. C'est ce qui permet d'établir une cartographie de l'image en s'appuyant sur les valeurs radiométriques des pixels. La cartographie de l'image est effectuée par superposition des cartes du NDVI, de l'indice de brillance et de l'indice de rougeur. L'interprétation des groupes constitués est délicate car plusieurs types de variables thématiques interviennent dans la formation des classes et certaines ne sont pas forcément recherchées. Ainsi, il a été fixé un nombre de classes à extraire. En effet quatre thèmes sont retenus pour la nomenclature de classification, la végétation, l'ensablement, les Ergs et les Regs.

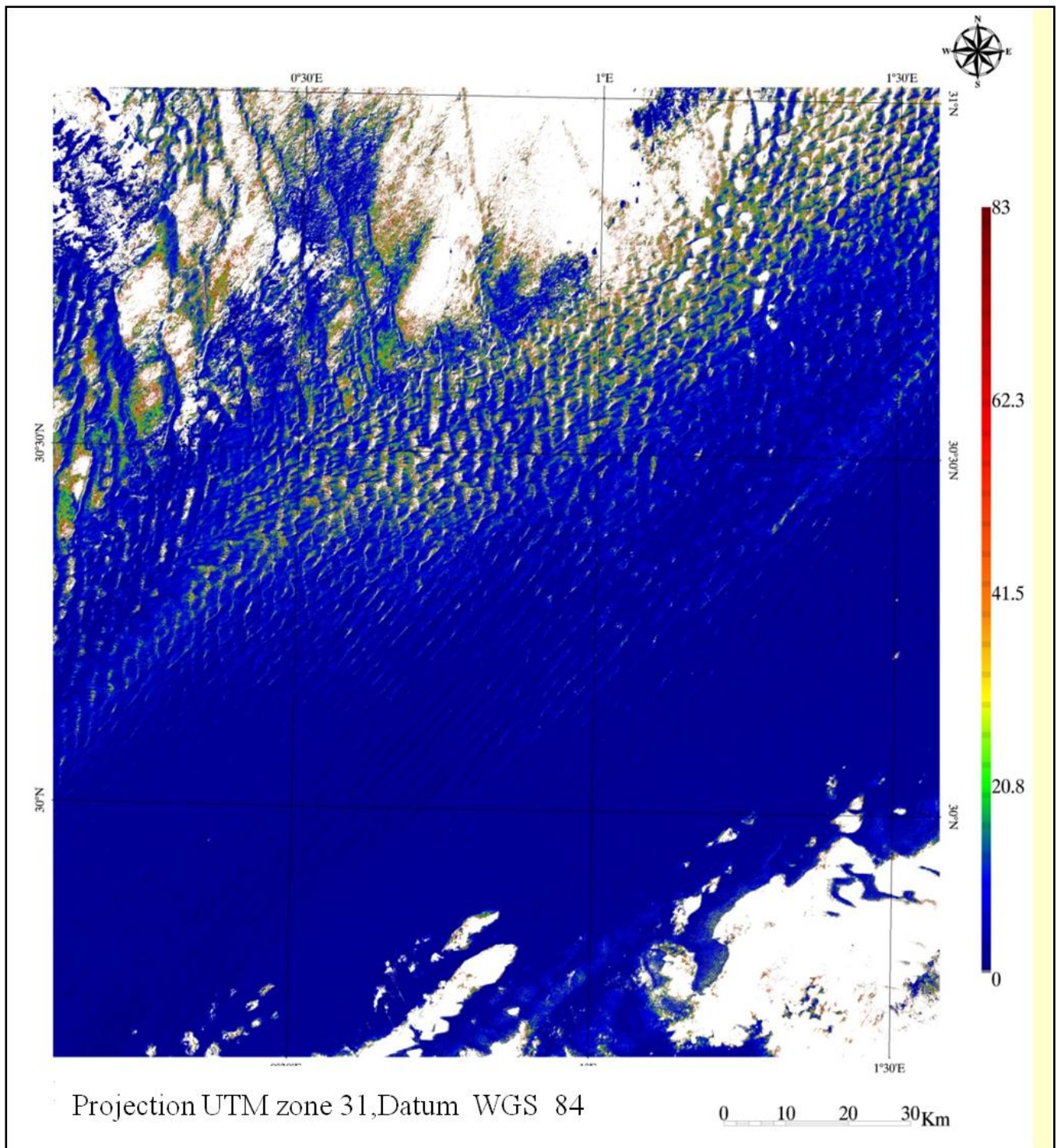
Cependant un accent est mis sur les zones végétalisées compte tenu de leurs importances pour le Criquet pèlerin autant que biotopes. Un algorithme de classification, du logiciel ENVI, basé sur la proximité spectrale des pixels, a servi au regroupement des pixels en sous-ensembles homogènes qui sont ensuite définis en classes thématiques et permettent l'élaboration de la carte des unités homogènes. A l'issue cette analyse de l'image Landsat TM, il est obtenu 4 classes principales. La figure 39 illustre le résultat de la classification de l'aire d'étude en unités homogènes. Le tableau 36 représente les unités homogènes et leurs surfaces respectives.



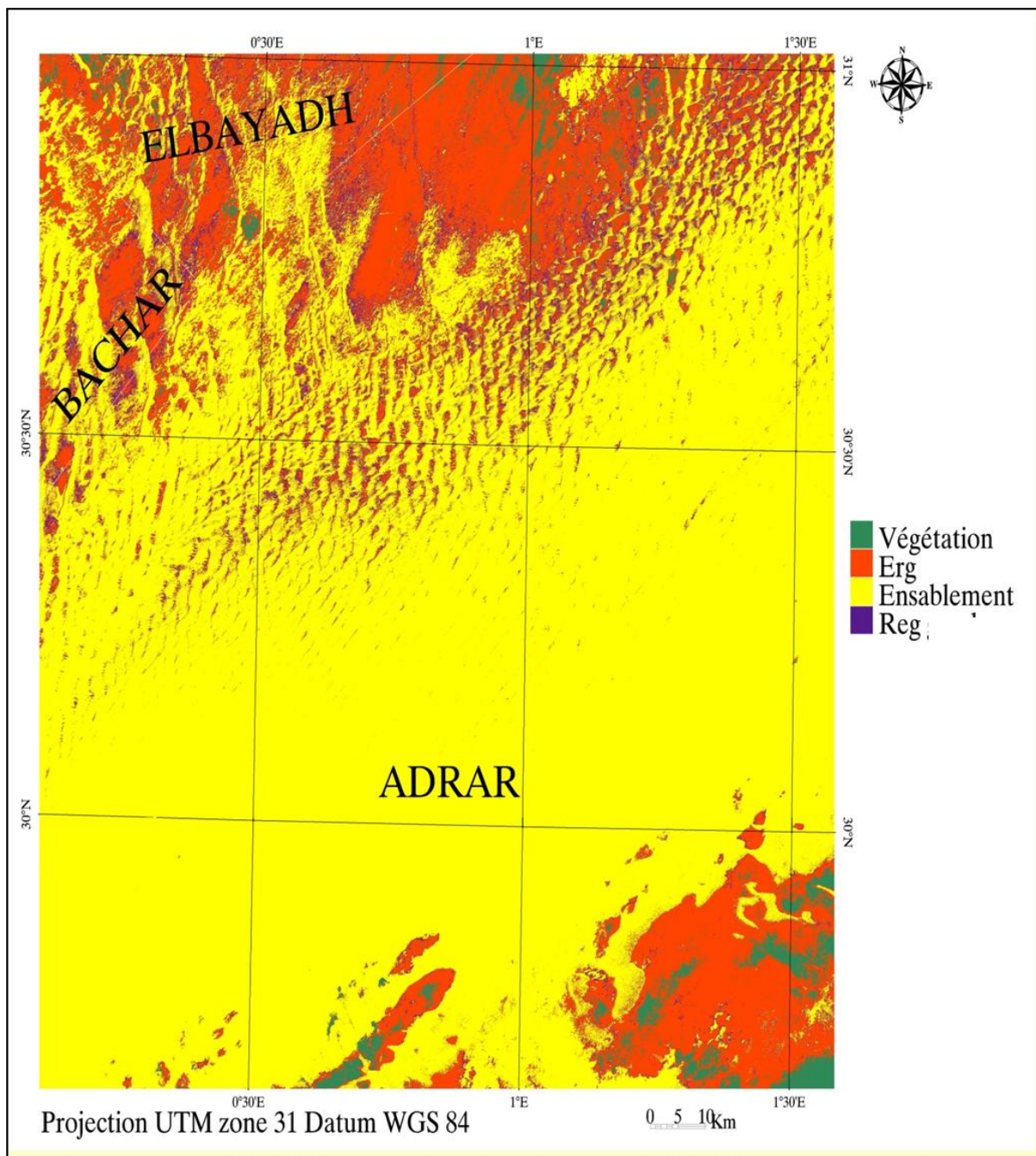
**Figure 36** - Carte de l'indice de végétation NDVI de l'aire d'étude en 2007



**Figure 37** - Carte de l'indice de brillance de l'aire d'étude en 2007.



**Figure 38** - Carte de l'indice de rougeur de l'aire d'étude en 2007.



**Figure 39** - Occupation du sol et limites spatiales des zones de végétation dans l'aire d'étude.

**Tableau 36** - Surface en ha des unités délimitées dans l'aire d'étude avec Landsat TM

<b>Classes</b>	<b>Nombres de pixels</b>	<b>*Surfaces en ha</b>	<b>Taux %</b>
<b>Végétation</b>	470.136	42312,24	1,973
<b>Erg</b>	4.450.333	400529,97	18,672
<b>Ensablement</b>	17.553.498	1579814,82	73,648
<b>Reg</b>	1.360.168	122415,12	5,707
<b>Totaux</b>	<b>23.834.135</b>	<b>2145072,15</b>	<b>100</b>

\*La surface en ha est obtenue en multipliant le nombre de pixels par la surface élémentaire d'un pixel soit 0,09 ha dans le cas du Landsat TM.

La zone végétalisée dans l'aire d'étude occupe une superficie de 42.312,27 ha soit 1,97 % de l'étendue de l'image satellitaire Landsat TM. Cette zone est restreinte au Sud-Est, au Nord et au Nord-Ouest. Il s'agit d'une végétation naturelle essentiellement herbacée et faiblement arbustive. Au Sud-Ouest de la région occidentale, la zone végétalisée est limitée entre 30° 30' et 31° 03' de latitude et de 0° 09' à 0°30' de longitude Est. Elle est beaucoup plus faible à Béchar qu'à El Bayadh. Par contre, dans le Sahara central, la végétation occupe la partie Nord entre 30° 30' et 31° 03' de latitude et 1° à 1° 57' de longitude Est. Au Sud-Est, la végétation est assez importante. Elle est notée entre 29° 64' et 30°N. de latitude nord et de 1° à 1° 57' de longitude Est. Dans les deux zones de l'aire d'étude, la végétation occupe principalement les regs graveleux et les abords des dunes de sables dans les ergs notamment dans la partie occidentale. La partie centrale de l'aire d'étude constituée par l'ensablement est presque dépourvue de végétation. A titre indicatif l'année 2007 la région d'Adrar n'a reçu que 6,1 mm dont 1,0 mm de précipitations en mars soit un mois avant la date de l'image Landsat TM. Les mois de janvier, février et avril apparaissent secs. Par contre la région de Béchar a reçu 36,8 mm du mois de janvier à avril.

#### **4.3. - Effet des huiles essentielles de *Nerium oleander* sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria***

Il est question des propriétés physiques et chimiques de l'huile essentielle de *N. oleander*, de son action sur la prise de nourriture, le poids vif et la mortalité et sur de l'effet sur le TL50



#### 4.3.1. - Propriétés physiques et chimiques de l'huile essentielle de *N. oleander*

Les principales propriétés physiques et chimiques de l'huile essentielle extraite par hydrodistillation des feuilles de laurier rose sont placées dans le tableau 37.

**Tableau 37** - Propriétés physiques de l'huile essentielle des feuilles de *N. oleander*

pH	Densité à 20 °C	Viscosité	Masse volumique mg	Rendement brute %	Concentration mg/l
6,9	0,9537	1,03	0,5	5	0,5

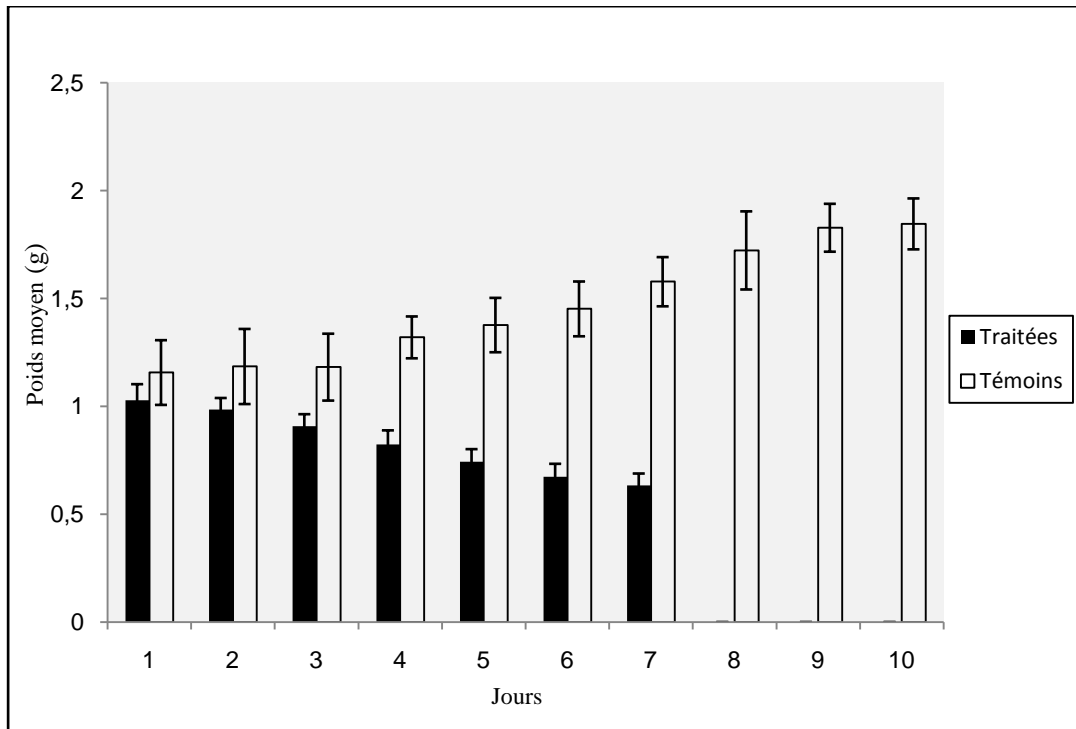
L'huile essentielle de *N. oleander* est caractérisée par un pH de 6,9 voisin de la neutralité et un rendement de 5 %. Ce taux est acceptable car la teneur des plantes en huile essentielle est faible, en général. Elle est comprise entre 1 à 3%.

#### 4.3.2. - Action sur la prise de nourriture, le poids vif et la mortalité

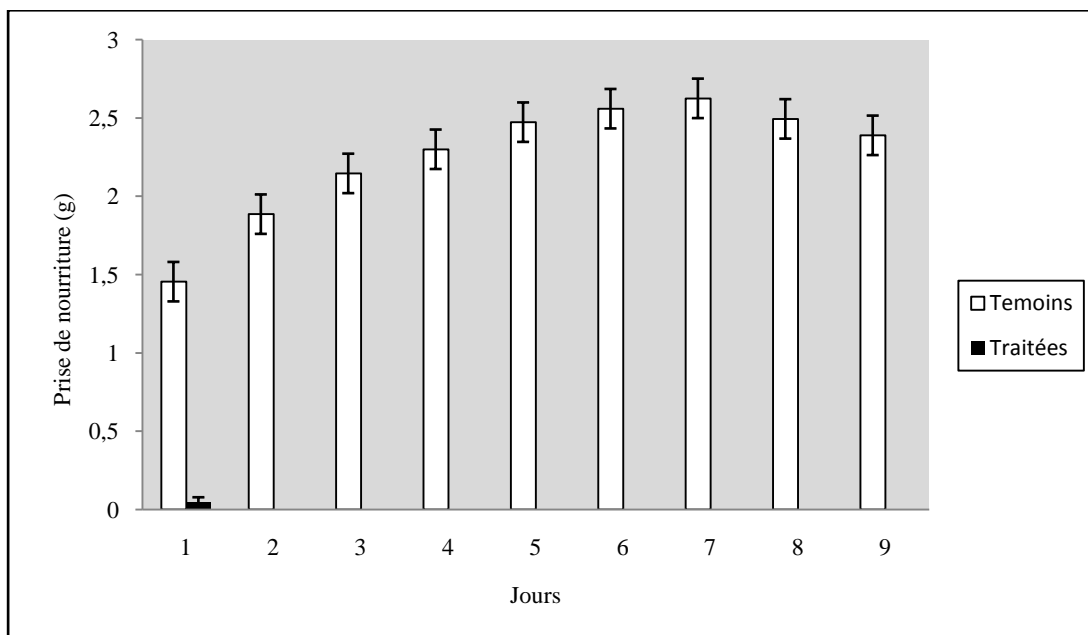
Les résultats illustrés par les figures 40 et 41 (Tab.38 en annexes) montrent que la quantité consommée par les larves L<sub>5</sub> traitées et les témoins ainsi que leurs poids suivent la même évolution. Les quantités consommées par les traitées sont significativement réduites ( $F_{(1,97)} = 7,92$ ,  $P < 0,0001$ ) à celles enregistrées chez les témoins ( $F_{(1,97)} = 16,95$ ,  $P < 0,0001$ )(Tab.39 et 40 en annexes). En effet, les larves traitées cessent de se nourrir à partir du deuxième jour et perdent de leur poids vifs ( $F_{(2,14)} = 186,41$ ,  $P < 0,0001$ ) jusqu'à leur mortalité totale au 7<sup>ième</sup> jour du traitement. Par contre les témoins améliorent leur poids au bout de 10 jours d'expérience ( $F_{(1,91)} = 52,34$ ,  $P < 0,0001$ ). La mortalité des larves traitées intervient au deuxième jour du traitement avec un taux de 16,7 % et atteint 100 % au 7<sup>ième</sup> jour alors qu'il est de 10 % seulement chez les témoins (Fig. 42 ; Tab 41 en annexes).

#### 4.3.3. - Effet sur le TL50

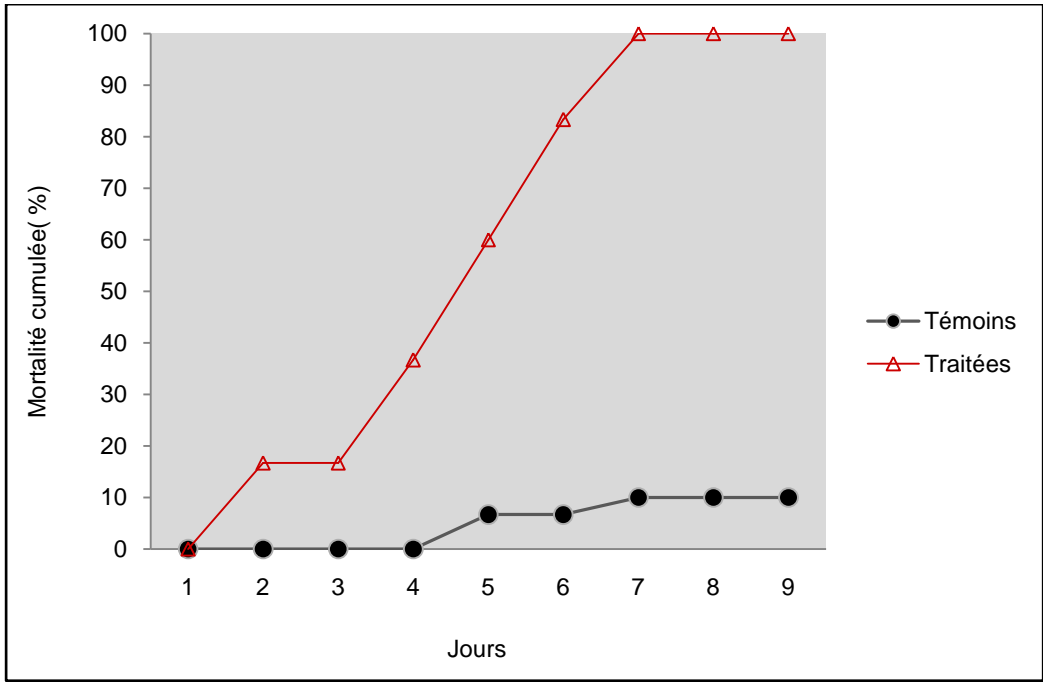
La figure 43 représente la régression logistique de la mortalité obtenue en fonction du temps. L'analyse des probabilités après ajustement du modèle donne un TL50 de 3,7 jours ( $2,77 < 3,66 < 4,36$  ;  $\text{Chi}^2 = 7,97$ ;  $p < 0,0001$ ) et un TL90 de 7,32 jours ( $6,19 < 7,32 < 9,48$ ) Plus le  $\text{Chi}^2$  est faible meilleur est l'ajustement au modèle de régression, et donc la fiabilité de la TL50.



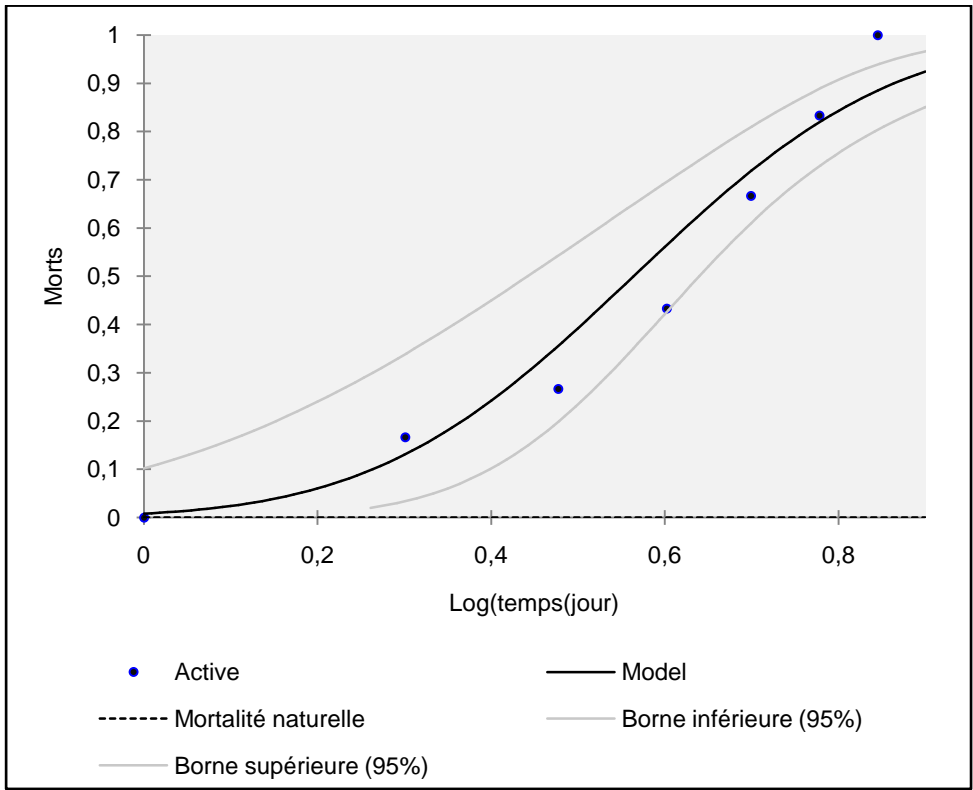
**Figure 40** - Effet de l'huile essentielle des feuilles de *N. oleander* sur le poids moyen des larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria* (moyennes  $\pm$  écart-type).



**Figure 41** - Effet de l'huile essentielle de *N. oleander* sur la prise de nourriture des larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria* (moyennes  $\pm$  écart-type).



**Figure 42-** Effet de l'huile essentielle des feuilles de *N. oleander* sur le taux de mortalité cumulée des larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*



**Figure 43 -** Efficacité de l'extrait de *N.oleander* , dans le temps (log temps) sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*

## Chapitre V – Discussions

Il est question d'abord du processus de la grégarisation de *Schistocerca gregaria*. L'occurrence globale et mensuelle au Sahara est discutée, suivie par une discussion approfondie par année d'étude et par secteur géographique. L'action de la pluviométrie et celle de la température moyenne sont présentées ainsi que celle de l'étude morphométrique des individus capturés au Sahara central. Ensuite il est question de la caractérisation des foyers de grégarisation potentielle où il seront abordées toutes les étapes ayant conduit à l'élaboration d'une carte d'occupation du sol de l'aire d'étude. Enfin il est discuté l'effet de l'huile essentielle de *Nerium oleander* sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*.

### 5.1. - Processus de grégarisation de la Sauterelle pèlerine

Il y est d'abord discuté de l'occurrence globale et mensuelle de *Schistocerca gregaria* puis de l'étude phénologique et phasaire par année d'étude. Ensuite il est question de l'occurrence par région géographique du Sahara et de l'action de la pluviométrie et de la température sur les populations acridiennes. Enfin l'étude morphométrique des individus capturés au Sahara central est comparée avec celles d'autres auteurs.

#### 5.1.1. - Occurrence globale de *Schistocerca gregaria*

En période de rémission, et durant les années 2007 à 2010, le Criquet pèlerin développe au Sahara toutes les formes phasaires mais avec des différences dans la composition. En effet le stade phasaire dominant demeure celui des individus solitaires. Ils occupent 82,4 % des relevés. Les populations transiens, avec un taux de 16,8 %, s'observent presque chaque année tandis que les populations grégaires, avec 0,8 %, apparaissent, très faiblement, une année sur quatre et ne sont constituées que par des larves. Lecoq (2014) précise qu'en dehors des périodes d'invasion les populations solitaires de *S. gregaria* sont limitées à une zone géographique restreinte, essentiellement en zones désertiques et loin des cultures. Cette aire couvre 16 millions de km<sup>2</sup> et concerne surtout la zone saharienne. Guendouz-Benrima et al. (2011) précisent que la phase solitaire est dominante dans le Sud algérien.

Elle devrait faire l'objet de recherches plus approfondies notamment en période de rémission (Duranton et Launois, 1980). Benfekih et al. (2011) travaillant sur la morphométrie des populations de *Locusta migratoria cinerascens* (Fabricius, 1781), de 1995 à 2004, rapportent qu'au Sahara central algérien cette espèce grégariapte est présente en phase solitaire ou transiens, n'ayant jamais atteint l'état grégaire.

### **5.1.2. - Occurrence mensuelle de *S. gregaria***

La présence de larves et des ailés solitaires est mentionnée au Sahara en hiver et au printemps et se prolonge en été pour les ailés. Cependant la fréquence des larves est beaucoup moins importante que celle des ailés. Elles sont surtout fréquentes en décembre et en mai. Le même constat est fait par Guendouz-Benrima *et al.* (2011). Par contre les transiens sont fréquents durant deux principales périodes du présent travail, soit de mai à juin et de novembre à décembre, les fréquences élevées sont remarquées en mai pour les larves et en novembre pour les ailés. Mais les grégaires ne sont signalés qu'en mai de l'année 2007. En effet, mai constitue le mois des hautes fréquences des larves toutes phases confondues (Popov, 1997; Guendouz-Benrima *et al.*, 2011). Ces fréquences mensuelles des différents stades phénologiques et phasaires laissent supposer que deux reproductions sont intervenues dans la région d'étude, l'une hiverno-printanière, entre février et mai et l'autre estivo-automnale entre août et novembre. Selon Guendouz-Benrima *et al.* (2011) les reproductions de *S. gregaria* sont localisées et peu fréquentes dans le Sahara, une première reproduction a lieu entre mars et juin et la seconde entre septembre et décembre. La classification ascendante hiérarchique a permis d'expliquer la variabilité mensuelle de la situation des populations de *S. gregaria* au cours de la période d'étude en mettant en exergue les principales populations présentes et leurs phénophases. Cette analyse a permis également de confirmer qu'en période de rémission la transformation phasaire se produit en deux périodes de l'année l'une d'avril à juin et l'autre en novembre-décembre. Les formes transiens y sont dominantes. En effet au Sahara algérien la phase transiens est la plus fréquentes (Guendouz Benrima *et al.*, 2007). Chaque occurrence possède de l'information qui lui est propre et l'étude des relations espèces-milieu à l'échelle des occurrences apparaît donc théoriquement possible (Brown et Opler, 1990; Mourelle et Ezcurra, 1996; Gimaret-carpentier *et al.*, 1998).

### 5.1.3. – Etude phénologique et phasaire par année d'étude

Comparativement aux autres années d'étude, 2007 s'est caractérisé par de hautes fréquences des populations solitaires et transiens et par la présence de larves grégaires. En effet en mai une reproduction locale au Sahara central, a entraîné, un accroissement des effectifs d'ailés transiens matures et des larves grégaires, de stade L<sub>1</sub> à L<sub>4</sub> avec une densité moyenne de 200 larves par m<sup>2</sup> les deux stades confondus.

Duranton et Lecoq (1990) rapportent qu'en conditions favorables et après une reproduction d'ailés solitaires matures, les larves nouveaux-nées, après éclosion, en étant regroupées en population dense, auront déjà certaines caractéristiques de la phase grégaire. Les ailés matures sont issus probablement d'une reproduction de populations solitaires ayant eu lieu plus tôt vers la fin de février. A ce propos Popov (1989) mentionne qu'en conditions favorables le cycle de *S. gregaria* en phase solitaire dure environ 58 jours. Cet accroissement localisé au niveau des cultures irriguées s'est produit vraisemblablement à la suite des réductions des ressources trophiques comme les céréales. En effet le Criquet pèlerin a une prédilection marquée pour les Poaceae (Doumandji et Doumandji Mitiche, 1994). Les superficies des céréales sous pivot sont très réduites au cours du mois de mai. La récolte s'est faite plus tôt en mars-avril et les emblavures tardives devenues sèches ne sont pas recherchées par les populations de *S. gregaria*. Cela a conduit les populations à se rabattre sur les cultures étagées dans les oasis et sur les cultures maraîchères de plein champ. Duranton et Lecoq, (1990) signalent que la concentration des ailés solitaires du Criquet pèlerin sur des aires réduites est la conséquence du dessèchement progressif des biotopes. Plus tard, Ould El Hadj (2011) précise qu'une fois les céréales arrivées à maturité, et que les pivots ont cessé toute irrigation, des populations très denses quittent ces lieux et vont à la recherche d'une alimentation verte et abondante. Elles se rabattent systématiquement sur les parcelles couvertes de maraîchages et sur les cultures sous-serres pratiquées aux alentours des pivots notamment dans la localité de Zaouiet Kounta qui occupe près de 60 % des superficies irriguées dans la région d'Adrar. Aussi durant la période hiverno-printanière la pluviométrie enregistrée au Sahara central est presque nulle à l'exception du mois de mars (1,0 mm), ce qui n'a pas permis un bon développement de la végétation naturelle. Ce déficit en pluviométrie aurait contribué à l'accroissement des effectifs de *S. gregaria*. Le maintien de cette situation de sécheresse jusqu'au mois de juillet a entraîné l'apparition de larves, de dernier stade, et d'ailés transiens en juin toujours au niveau des cultures irriguées.

En effet Selon Lazare (2011) le Criquet pèlerin a la capacité d'exploiter au mieux les faibles pluies erratiques des zones désertiques de l'aire de rémission.

Les jeunes stades auraient pu être observés plus tôt. Il s'agit sûrement d'un sous-échantillonnage lors des prospections. La région centrale a déjà subi de fortes concentrations en 1995 à Adrar suite à un déficit pluviométrique notable (Ould El Hadj, 2011). En plus de l'accroissement des effectifs d'autres facteurs semblent intervenir dans l'expression du polymorphisme phasaire notamment la température et la sécheresse (Appert et Deuse, 1982). Néanmoins Jeannel, (1948) explique que le surpeuplement d'un habitat restreint, l'accumulation des individus qui s'y trouvent en contact direct est indispensable au processus de la grégarisation.

Durant la même année, en mai, des accroissements d'effectifs d'ailés solitaires sont également relevés au Sahara méridional probablement en raison de la sécheresse climatique et la température favorable (27,2 °C). Au Sahara occidental, au niveau de l'oued Saoura, des larves de dernier stade ont atteint des densités de 1 à 5 larves par m<sup>2</sup> et des ailés solitaires près de 100 ailés par arbre. A l'inverse des autres régions du Sahara, en février 2007, l'Oued Saoura a connu une crue qui aurait probablement favorisé le développement du couvert végétal notamment des plantes herbacées telles que le *Cyperus conglomeratus*, suivies dans le grand Erg Occidental par une graminée endémique, *Danthonia fragilis* mais aussi des Fabaceae et des Asteraceae (Ozenda, 1983). La densité larvaire, relevé dans l'Oued Saoura, dépasse largement celui établie (0,025-0,05/m<sup>2</sup>) par Launois-Luong et Lecoq, (1988). Lecoq (2012) précise que la densité est l'un des facteurs déclenchant la transformation phasaire. C'est ce qui a conduit probablement à l'apparition des larves transiens en juin de la même année dans la même région.

Les populations transiens disparaissent des relevés durant l'été et l'automne tandis que les solitaires persistent mais en faibles fréquences. La réapparition des transiens avec des fréquences élevées s'effectue en décembre 2007 où des pullulations d'ailés transiens et d'ailés solitaires immatures et matures ont eu lieu atteignant des densités de 1.500 ailés/ha au Sahara central et méridional. Les ailés transiens, issues probablement d'une reproduction automnale, ont enregistré un accroissement d'effectif sur des surfaces végétales restreintes représentées par les cultures irriguées et la végétation persistantes sur les zones d'épandage. En effet la rareté des pluies, en automne et en début hiver de l'année 2007 dans le Sahara central et méridional, a imposé au Criquet pèlerin de se regrouper sur des sites privilégiés et a permis donc le déclenchement de la transformation phasaire.

Il s'agit probablement de transiens dégregans puisqu'ils demeurent absents des relevés suivants et ne réapparaissent qu'en 2010. L'interconnexion de l'Algérie avec la Mauritanie, le Mali et le Niger constitue également une source d'accroissement des effectifs et mériterait d'être étudiée. Pour ce qui est de l'année 2008, la pluviométrie était meilleure que celle enregistrée en 2007 pour les régions d'étude notamment dans le Sahara central. Cette région a reçu 53,3 mm dont 86 % en automne contre seulement 6 mm en 2007. La pluviométrie mentionnée au Sahara occidental a atteint 58 mm dont 72,8 % tombée en automne notamment en octobre, alors qu'au Sahara méridional 64,5 % des pluies (23,6 mm) sont relevées en été en particulier en août. Parallèlement les températures répondent aux normes saisonnières dans l'ensemble du Sahara. Ces conditions favorables de pluviométrie sont propices aux reproductions et au développement de la végétation et par conséquent à l'accroissement des populations et aux transformations phasaires. En effet, au Sahara central et méridional les populations solitaires et les larves transiens présentent des fréquences élevées par rapport à celles obtenues en 2007. Les ailés transiens n'ont pas été observés.

Les infestations des solitaires ont persisté pendant 6 mois, de mars jusqu'en août, dans les deux secteurs sahariens. En mars, des ailés solitaires en accouplement se présentent dans des populations en densités de 500 à 600 ailés par ha au Sahara central. La reproduction s'est déroulée précocement qu'en 2007 à la faveur de la pluviométrie reçue notamment en février et en mars (7,3 mm). Au Sahara méridional des accroissements des effectifs de larves solitaires et transiens et des ailés solitaires sont relevés en avril avec des densités respectives de 5 larves par m<sup>2</sup> et 3000 ailés par ha. Au Sahara central, les infestations acridiennes ont persisté aussi en mai pour les mêmes stades phénophasaire avec des densités plus importantes pour les larves, 50 larves par m<sup>2</sup>, et moins pour les ailés, soit 500 ailés par ha. Dans cette même région les infestations des ailés solitaires localisées, au niveau des cultures irriguées, ont persisté en juin, juillet et août avec des densités comprises entre 800 et 1500 ailés par ha. Roffey et Major (2003) précisent qu'une pluviométrie comprise entre 25 et 50 mm suffirait à fournir au Criquet pèlerin des conditions optimales pour le développement des différents stades biologiques. Waloff (1966) écrit qu'elle permet aussi l'accroissement rapide des populations suivi par des transformations phasaires qui peuvent durer une ou plusieurs années. En effet au cours des années suivantes, en 2009 et en 2010, les populations transiens étaient courantes durant la période verno-estivo-automnale au Sahara central. En mai aussi bien en 2009 qu'en 2010 des infestations de larves transiens et solitaires sont signalées au niveau des cultures irriguées avec des densités élevées atteignant 100 larves par m<sup>2</sup> en 2009. Ces infestations se sont poursuivies au mois de juin 2010 en présence de larves transiens et



solitaires. Suite à une reproduction automnale, des larves transiens des stades L1 à L3 ont fait leur apparition au mois de novembre toujours au Sahara central. En conditions favorables et après une reproduction d'ailés solitaires matures, les larves nouveaux- nées, après éclosion, en étant regroupées en populations denses, auront déjà certaines caractéristiques de la phase grégaire (Duranton et Lecoq, 1990). Les autres secteurs du Sahara n'ont connu durant les années 2009 et 2010, que des occurrences de populations solitaires en particulier en mai et en décembre 2010 où des infestations d'ailés solitaires ont eu lieu au Sahara occidental et au Sahara méridional. Les conditions éco-météorologiques favorables à la reproduction et la présence des surfaces irriguées ont permis d'enclencher et de maintenir le processus de grégarisation durant quatre années au Sahara central. alors qu'au Sahara méridional le processus ne s'est produit que durant deux années, 2007 et 2008, dans les sites naturels. En effet, seuls le Sahara central et le Sahara méridional sont concernés par des reproductions régulières ou chroniques du Criquet pèlerin (Guendouz-benrima *et al.*, 2011). Lecoq (2012) précise que le passage de la phase solitaire à la phase grégaire demande en général 4 générations successives au minimum, au cours desquelles les conditions favorisant la transformation phasaire se maintiennent.

Il se peut aussi que ces infestations soit le résultat des déplacements de populations de criquets pèlerins autochtones entre les différents secteurs à la recherche de conditions favorables. Ces conditions pourraient même attirer les criquets allochtones. A ce sujet Belazzougui (2010) précise que l'Algérie constitue également lorsque les conditions écologiques sont favorables une zone de reproduction pour les populations allochtones. Ces populations proviennent des pays sahéliens limitrophes (Mali et Niger), à la fin de la reproduction estivale et de la frontière occidentale (Mauritanie et Maroc), en période de reproduction hiverno-printanière.

#### **5.1.4. - Occurrence géographique des populations de *S. gregaria***

Entre 2007 et 2010, en période de rémission, les populations de *S. gregaria* s'étendent dans la région d'étude entre 19° 58' et 30° 11' N. Guendouz-benrima *et al.* (2011) mentionnent une occurrence géographique s'étendant entre les latitudes 19° et 31° N. au Sahara central, occidental et méridional. Les populations du Criquet pèlerin sont essentiellement localisées au Sahara central entre 22° et 28° de latitude Nord et entre 0° et 9° de longitude Est.

Les plus hautes fréquences sont enregistrées au centre dans la région d'Adrar (27° 53'N.; et 0° 17'W.) au printemps et en été. Cette région offre des biotopes favorisant les reproductions et le maintien des formes dominantes solitaires et transiens.

Ces biotopes sont constituées par les cultures irriguées notamment les palmeraies, les céréales sous pivot et les cultures maraichères. Au Sahara occidental les occurrences des individus se limitent aux latitudes 27° à 30°N et aux longitudes 2° à 8° Ouest. Cependant les fréquences élevées notamment des criquets solitaires sont notées dans l'Oued Saoura, entre Beni abess et Adrar (30° 11N.; 2°14' W.). Enfin au Sahara méridional, les populations solitaires et transiens s'étendent entre 19° et 22° N. et entre 0° et 5 ° W. Les plus hautes fréquences se produisent au nord-ouest de Tamanrasset (22° 50'N.; 5° 28' E.). Cette zone offre aux criquets des biotopes favorables en été à la faveur des pluies estivales. En effet, selon Belazzougui (2010) la reproduction estivale concerne toutes les régions du Sahara méridional, situées au sud de la latitude 24° N. Il s'agit particulièrement des zones d'écoulement et d'épandage des eaux de pluie du Sud de l'Ahnet et du Tamesna. Les biotopes de multiplication correspondent aux zones d'écoulement et d'accumulation des eaux de pluies des plateaux sahariens et les milieux du Sahara central.

Par contre les biotopes de grégarisation sont représentés par les sols alluvionnaires du Sahara central et méridional (Sitouh, 1976; Guendouz-Benrima *et al.*, 2002).

Exploitant des données pluriannuelles (1983-2000) relatives à la période d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin en Algérie Guendouz-Benrima *et al.* (2011) notent que les plus hautes fréquences d'occurrence des solitaires en période d'invasion sont notées au niveau de la zone du Sahara central entre 20° et 25° N., et entre 1° et 5°E. Celles des transiens sont limitées entre 20° et 23° N. et 26° et 28° N. alors que celle des grégaires est plus large. En effet, les essaims remontent jusqu' à la latitude 35° N. En période d'invasion le Criquet pèlerin occupe ainsi un plus large territoire qu'en période de rémission.

#### **5.1.5. - Action de la pluviométrie et de la température**

L'étude de l'action de la pluviométrie et de la température moyenne sur l'occurrence mensuelle phénologique et phasaire de *S. gregaria* a montré, en général, que la pluviométrie n'a pas d'effet sur la présence des populations acridiennes bien qu'elle explique le mieux l'apparition de la végétation. Par contre la température moyenne présente un effet hautement significatif. Ainsi la température pourrait avoir un lien étroit avec la présence mensuelle des différents stades du Criquet pèlerin.

Néanmoins les faibles valeurs de corrélations obtenues pour ce facteur ne suffisent pas à confirmer cette hypothèse. En effet le nombre de stations météorologiques au Sahara est très faible et ne couvrent pas l'ensemble de l'aire grégarigène. Talia et al. (2011) rapporte que la distribution des stations est très dispersée au Sahara. Elles ne sont pas toujours représentatives de la région à cause de leur éloignement les unes des autres, ce qui doit inciter à la prudence dans l'étude des différentes nuances pluviométriques. L'installation de quelques nouvelles stations météorologiques au Sahara a contribué à éliminer de vastes étendues n'ayant aucune activité de grégarisation. C'est le cas du Sud-Ouest algérien, région allant de Tindouf à Béchar, du Tanezrouft et du Sahara septentrional (Lazare, 2011). Launois et Launois-Luong (1998) notent qu'à toute variable météorologique décadaire correspond toute une gamme de réponses biologiques qualitatives et quantitatives et recommandent, pour mieux cerner le phénomène de grégarisation l'exploitation de la température minimale ou maximale, l'amplitude thermique, le cumul de températures et celle du sol ainsi que l'ensemble des autres variables climatiques telles que l'humidité, l'évaporation et les précipitations.

Pour ce faire, il faudrait non seulement renforcer les stations météorologiques mais peut être mieux encore utiliser des mini stations localisées afin de collecter des observations utiles et de pouvoir étudier le processus de grégarisation avec précision et par conséquent définir un modèle de dépendance entre les variables climatiques et les stades phasaires du Criquet pèlerin. Sword *et al.* (2010) ajoutent qu'il faudra également établir un modèle sur la distribution des ressources végétales. Par ailleurs des travaux récents réalisés au laboratoire, ont démontré que des facteurs exogènes incluant la couleur du substrat, l'humidité, la qualité alimentaire et l'intensité de la température auraient un effet sur la transformation phasaire (Tanaka *et al.*, 2012).

#### **5.1.6. - Etude morphométrique des individus**

Dans le présent travail, l'étude morphométrique des individus capturés en 2010 dans la région d'Adrar, au Sahara central, a montré que les populations capturées ont une structure phasaire très hétérogène. Dans la région d'Aoulef, les populations sont constituées par des individus typiquement solitaires, transiens dégrégans, transiens congregans et grégaires. A Zaouiet Kounta les populations sont constituées d'individus solitaires, transiens dégrégans et de quelques individus en phase transiens congregans.

Cela permet de déduire que dans ce secteur saharien le processus de grégarisation se déroule complètement de la phase solitaire à la phase grégaire. Cette juxtaposition des individus appartenant aux 3 phases dans une même population est très bénéfique pour l'espèce car elle lui permet d'étendre son aire de répartition en colonisant d'autres territoires (Boughdad, 1991). Cependant l'analyse en composantes principales a permis de faire ressortir 3 principaux groupes d'individus par région, composés essentiellement par des mâles. Les individus capturés à Aoulef sont formés par des morphotypes solitaires, transiens dégrégans et transiens congrégans. Les populations de Zoaouiet Kounta appartiennent aux morphotypes solitaires et transiens dégrégans. Doumandji-Mitiche *et al.* (1996) signalent que les populations de *S. gregaria* étudiées dans les régions de Tamanrasset et d'Adrar en 1995 se trouvaient à l'état transiens dégrégans. De leur côté Kara *et al.* (2010) montrent que les populations échantillonnées, durant la période comprise entre 1993 et 2004, appartiennent à la phase solitaire et à la phase transiens dégrégans, à l'exception d'avril 1998, à Adrar, où les populations étaient grégaires. Bensaad et Doumandji-Mitiche (2014) utilisant des individus de *S. gregaria* capturés à Adrar, Béchar et dans le Hoggar, entre 2009 et 2010, obtiennent des transiens dégrégans, quelques rares solitaires types, mais aucun grégaire.

Les résultats obtenus dans la présente étude sont assez similaires à ceux obtenus par les différents auteurs précédemment cités. Il y a lieu de préciser que l'étude morphométrique ne suffit pas à caractériser un état phasaire.

La détermination de l'état phasaire doit aussi s'appuyer sur les caractéristiques pigmentaires, comportementales et reproductives (Roffey et Major, 2003).

## **5.2. - Foyers de grégarisation naturels potentiels au Sahara**

Les étapes du traitement de l'image satellitaire Landsat TM y sont d'abord discutées. Ensuite il est question de l'indice de végétation, de l'indice de brillance et de l'indice de rougeur des sols. Enfin un accent est mis sur la carte d'occupation du sol et des biotopes naturels potentiellement favorables à la grégarisation de *S. gregaria*.

### **5.2.1. - Traitement de l'image satellitaire Landsat TM**

L'utilisation de l'outil télédétection spatiale à haute résolution utilisé sur une image Landsat TM datant du 9 avril 2007 a permis de qualifier et de quantifier les états de surface du sol sur une aire couvrant 21.450,72 km<sup>2</sup>.

Cette aire s'étend entre 29° 59' et 31° 06' de latitude Nord et 0° 09' à 1° 59' de longitude Est. Le choix de la date d'acquisition de l'image satellite réside dans le fait qu'elle ne contenait aucune pollution atmosphérique telle que les nuages ou les vents de sables. Aussi un mois plus tôt l'aire choisie avait reçu une pluviométrie assez suffisante permettant le développement de la végétation et par conséquent l'identification de biotopes naturels favorables au Criquet pèlerin. La télédétection est un outil qui permet de mieux déterminer l'évolution du couvert végétal, l'influence des facteurs environnementaux et la pression anthropique sur les milieux fragilisés (Emeterio *et al.*, 2009). Les limites choisies pour l'image Landsat TM se situe en dehors des latitudes des occurrences précédemment définies pour les populations de *S. gregaria* (19° et 30° 11'N). L'utilisation opérationnelle de la télédétection spatiale devra être considérée comme une priorité car elle permet la détection des zones favorables à la grégarisation et d'orienter plus efficacement les prospections uniquement vers ces biotopes.(Lecoq *et al.*, 1998). En effet, en Algérie l'usage de la télédétection de la végétation par les images satellitaires Alsat-2A a permis de circonscrire de façon plus ou moins précise les aires grégarigènes potentielles et de délimiter leur fonctionnement dans le temps.

Des zones très étendues ont de ce fait été éliminées de la prospection car aucune activité de grégarisation n'y avait été enregistrée durant une vingtaine d'années telles que la région allant de Tindouf à Béchar , le Tanezrouft et le Sahara septentrional (Lazare, 2011). Cela n'exclut pas la recherche de foyers naturels potentiels pouvant s'ériger en véritables source d'infestation pour les zones de cultures dans le pourtour de l'aire comme dans les zones éloignées. Afin de qualifier et de quantifier les états de surface du sol et par conséquent réaliser une carte thématique d'occupation du sol, l'image Landsat TM a subi des traitements qui ont permis d'abord la création de la composition colorée de l'aire d'étude.

En effet cette première démarche vise à améliorer la qualité visuelle de l'image (Girard et Girard, 1999) qui permettra ensuite de calculer et de réaliser les cartes de l'indice de végétation (NDVI ou Normalised Difference Vegetation Index), de l'indice de brillance et de l'indice de rougeur des sols. Ces différents paramètres sont indispensables pour la réalisation et l'interprétation de la carte d'occupation du sol (Benguerrai et Belgharbi, 2014)

### 5.2.2. - Indice de végétation, indice de brillance et indice de rougeur des sols

Le suivi et l'analyse à une échelle régionale des changements de la couverture végétale dans les milieux fragiles nécessite de faire appel au calcul du NDVI par le biais de la télédétection (Emeterio *et al.*, 2009). Le recours à la télédétection spatiale, notamment aux échelles fines de l'espace, est très important pour la surveillance spatio-temporelle des habitats du Criquet pèlerin et une meilleure estimation du risque de grégarisation en fonction de la structure de la végétation (Martini *et al.*, 1998; FAO, 2003; Lecoq, 2012). C'est pourquoi la télédétection, est aujourd'hui couramment employée dans le suivi des biotopes. Elle permet une étude à large échelle et offre une haute répétitivité temporelle, indispensable lorsque l'on s'intéresse aux végétaux (Zhang *et al.*, 2004 ; Jesen *et al.*, 2009 ; Soudani *et al.*, 2008). Dans l'aire d'étude le NDVI varie de - 0.07 à 0.40. La valeur négative exprime la présence d'eau ou d'humidité. Les sols nus et les sables ont les valeurs positives les plus faibles, soit moins de 0,30, tandis que la présence de végétation est indiquée par des valeurs comprises entre 0,30 et 0,35 pour une végétation faible. Les valeurs allant de 0,35 à 0,40 correspondent à une végétation dense. La présence de cette végétation dans l'aire d'étude peut constituer un biotope pour le Criquet pèlerin. Tratalos et Cheke (2006) précisent qu'il existe une relation positive entre le NDVI et la présence des populations de *S. gregaria*. Selon Huete *et al.* (1997) le NDVI possède un pouvoir séparateur intéressant.

En effet les nuages, l'eau et la neige ont une plus grande réflectance dans le visible que dans l'infrarouge, leur NDVI est donc négatif et il est possible de les isoler facilement. A l'inverse, les roches et les sols nus auront une réflectance semblable dans le visible et l'infrarouge mais leur très faible valeur de NDVI, de part et d'autre de zéro, ne permet pas la confusion avec la végétation. Les valeurs du NDVI varient de +1 à -1, plus les valeurs positives sont élevées plus la végétation est dense tandis que des valeurs faibles indiquent une végétation clairsemée (Meneses-Tovar, 2011). Benslimane *et al.* (2008) étudiant le phénomène de la désertification en Algérie du nord trouvent des valeurs du NDVI variant de 0 à 1, les fortes valeurs, comprise en 0,75 et 1, correspondent aux forêts, celles situées entre 0,5 et 0,75 constitue la végétation des terrains irrigués.

Et les plus faibles varient entre 0,25 à 0,5 et correspondent à la végétation des zones steppiques. L'indice de brillance de l'aire d'étude varie de 73 à 226. Les faibles valeurs, comprises entre 73 et 119 s'observent dans les extrémités de l'aire d'étude. Elles traduisent la présence des regs et des sols calcaires et gréseux.

Par contre, les valeurs élevées de l'indice de brillance (169 - 226) reflètent la dominance de l'ensablement et des dunes de sable et une faiblesse voire une absence du couvert végétal. D'après Jackson *et al.* (1983) l'indice de végétation est sensible aux couverts végétaux, insensible à la brillance et à la couleur des sols nus. L'indice de rougeur a mis en évidence la dominance de l'ensablement dans la partie central de l'aire d'étude avec des valeurs de l'indice inférieur à 20. Pouget *et al.* (1990) précisent que l'utilisation de l'indice de rougeur n'est pertinent que lorsque l'influence des autres caractéristiques de surface est faible telles que l'humidité et la végétation.

### **5.2.3. - Carte d'occupation du sol et biotopes naturels**

La superposition des cartes du NDVI, de l'indice de brillance et de l'indice de rougeur a permis d'établir la carte d'occupation du sol à partir de laquelle ont été identifiés quatre principaux thèmes celui de la végétation, de l'ensablement, des ergs et des regs. Cette thématique fut réalisée grâce à la classification non dirigée qui est une technique recommandée par plusieurs auteurs (Aubry et Egretaud, 1994; Griguolo, 1996; Michael *et al.*, 2004; Benguerrai et Belgharbi, 2014). L'aire d'étude est largement dominée par l'ensablement qui occupe 73,6% de la superficie totale, puis par les ergs avec un taux de 18 %, ensuite les regs avec 5,7 %. La végétation naturelle y est très faible et localisée avec un taux de 2,0 % correspondant à 42.312,27 Ha. Elle est plus importante dans le Sahara central, sur le plateau de Tademaït, au Nord et au Sud de l'aire d'étude et occupe surtout les zones des ergs et des regs. Elle est très rare sur les sables. Lecoq (1998) et Lazare, (2011) précisent que Le versant Nord-Est du Plateau de Tadmaït est considéré comme aires grégarigènes en période de reproduction hiverno-printanière.

Au Sahara occidentale, occupé par le grand Erg occidental, la végétation est faible et se développe notamment sur les regs et les abords des dunes de sable. Cependant les sables y sont également dominants par rapport aux biotopes identifiés dans le Sahara central. La végétation est plus abondante et assez bien répartie au Sud d'El Bayadh qu'à Béchar. A l'exception de la région de Béchar, les autres zones identifiées peuvent constituer des foyers potentiels de reproduction et de grégarisation de *S. gregaria*. Le centre de l'aire d'étude, représenté par Adrar, occupé par les ensablements est dépourvue de végétation à l'exception de celles qui se fixent aux abords des dunes.

Cette zone ne peut pas constituer un attrait pour les populations du Criquet pèlerin en phase de rémission à l'exception des zones limitrophes de la végétation.

La faible densité de la végétation notamment dans l'Erg occidental s'explique par la pauvreté du milieu considéré comme oligotrophe. L'exploitation de plusieurs références a permis de faire une synthèse sur les aspects de la végétation de l'aire d'étude. En effet les dunes vives sont colonisées par le groupement à *Calligonum azel* Maire. et *Cyperus conglomeratus* Rottb. et sur les bordures de l'Erg se retrouve le groupement *Retama retam* Forsk. et *Aristida pungens* Desf. En période humide comme en période sèche, la composition floristique reste constante. Dans les regs, le groupement à *Fredolia aretioides* Coss. occupe la majeure partie des regs caillouteux à l'exclusion du réseau hydrographique et des sols sableux notamment pendant la période sèche. En période humide de nombreux végétaux annuels constituant l'Acheb, apparaissent sur les regs. Les terrains sableux sont occupés, par une végétation dominée par le "drinn" *Aristida pungens*. Cette graminée supporte aussi bien l'ensablement que le déchaussement grâce à un puissant système racinaire. Autour du grand Erg occidental la végétation arborescente fait défaut, à l'exception de quelques reliefs ou des fonds d'oueds mineurs qui descendent du plateau de Tademaït ou des piedmonts sud de l'Atlas saharien où apparaissent des formations dominées par *Acacia radiana* Savi. avec son cortège floristique caractéristique à base de *Panicum turgidum* Forsk. (Quezel et Simmoneau, 1963; Quezel, 1965; Barry *et al.*, 1985; Barry, 1991).

Autant la classification des unités géomorpho-pédologiques est facile autant la classification de la végétation nécessite encore des ajustements de l'indice avec des mesures radiométriques sur le terrain et surtout l'utilisation d'autres images obtenues dans des conditions de pluviométrie et donc de développement du tapis végétal en raison du caractère erratique des pluies dans l'aire d'étude. Cependant les populations de *S. gregaria* peuvent survivre là où il existe de la végétation, dans les oueds et les zones de ruissellement. La surveillance des conditions écologiques dans les aires potentielles de reproduction et de grégarisation doit se faire par l'utilisation des données météorologiques et de l'imagerie satellitaire.

Toute pluie significative dans les aires grégarigènes est favorable au développement du Criquet pèlerin et de la végétation. Des périodes successives de pluies abondantes largement réparties au niveau des foyers de grégarisation sont favorables au développement d'une "recrudescence" pouvant elle-même conduire, si elle n'est pas contenue, au développement d'une invasion (Lecoq *et al.*, 1998).



### 5.3. Effet des huiles essentielles de *Nerium oleander* sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*

L'huile essentielle des feuilles de *N. oleander* provoque chez les larves un rejet de consommation, une baisse de poids vif et un effet insecticide.

La prise de nourriture et le gain de poids vif sont des indicateurs de la croissance chez les animaux (Armbruster et Hutchinson, 2002). Plusieurs travaux, menés au laboratoire sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*, indiquent un ralentissement de croissance des larves soumises aux extraits d'*Eucalyptus globulus*, d'*Azadirachta indica* L., de *Melia azedarach*, d'*Euphorbia. guyoniana* Boiss. et Reut. d'*Inula viscosa*, de *Calotropis procera* (Ait. R. Br), de *Glinus litoides* L. et de *Peganum harmala* L. (Ould Ahmadou *et al.*, 2001; Ould el hadj *et al.*, 2003, 2006; Abbassi *et al.*, 2004, 2005; Kemassi *et al.*, 2010).

Le choix d'une plante par un insecte comme aliment, dépend des quantités relatives d'agents stimulant ou inhibant l'absorption de nourriture présente dans la plante. Chez le criquet la prise de nourriture est précédée d'une séquence comportementale de reconnaissance. Il explore la surface de la feuille avec ses palpes maxillaires avant de mordre. Le rejet du végétal s'effectue habituellement après la morsure (Legal, 1989). C'est ce qui explique la quantité de feuilles traitée consommée par les larves au premier jour suivi par un rejet. L'extrait foliaire de *N. oleander* inhibe la prise de nourriture et a une action répulsive sur les larves de *S. gregaria*. Le mode d'action des huiles essentielles est de mieux en mieux connu chez les insectes (Ngamo et Hance, 2007). Elles exercent des effets physiologiques et autres physiques. Les effets physiologiques peuvent affecter les neurotransmetteurs dont l'octopamine qui a un effet régulateur sur les battements du cœur, la motricité, la ventilation, le vol et le métabolisme (Chiasson et Beloin, 2007). L'efficacité insecticide des huiles essentielles des feuilles de *N. oleander* s'est traduite par une mortalité totale des larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria* au septième jour du traitement avec un TL<sub>50</sub> de 3,7 jours. Les hétérosides cardiotoniques principaux constituants de *N. oleander* sont les toxiques reconnus à cette espèce (Bruneton, 2001), dont le principal est l'oléandrine (Bakkali *et al.*, 2010).

La toxicité de cette plante est relevée chez *Lymantria dispar* L. (Kerris *et al.*, 2008) et sur les vers blancs (Rhizotrogini) (Madaci *et al.*, 2008).

Bagari *et al.* (2013) ont obtenu chez les larves L<sub>4</sub> de *S. gregaria* alimentées exclusivement de feuilles fraîches de *Nerium oleander*, une mortalité totale au bout de 12 jours. Barbouche *et al.* (2001) et Abbassi *et al.* (2004) utilisant les extraits des feuilles de *Calotropis procera* et *Cestrum parqui* obtiennent une mortalité totale des larves respectivement au 15<sup>ième</sup> et au 6<sup>ième</sup> jour.

Pour les extraits de *Peganum harmala*, *Azadirachta indica* et *Euphorbia guyoniana* la mortalité totale intervient aux 16<sup>ième</sup>, 10<sup>ième</sup> et 14<sup>ième</sup> jour du traitement (Ould el Hadj *et al.*, 2003 ; Kemassi *et al.*, 2010). Cette variabilité du temps de mortalité des larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*, notée par ces auteurs est due essentiellement à l'action toxique, répulsive ou anti-appétante de la plante utilisée et aussi à ses constituants et à la méthode d'extraction utilisée dans les différents travaux.

Toutefois l'extrait des feuilles de *N. oleander* apparaît plus toxique que la majorité des plantes suscitées. En effet *Nerium oleander* est extrêmement toxique, en usage interne elle peut causer des empoisonnements mortels à cause de la présence de deux alcaloïdes majoritaires, l'oléandrine et la nériine (Barbosa *et al.*, 2008 ). Ces deux substances diminuent la qualité de transmissibilité de l'influx nerveux (Bossard et Cuisance, 1977). La plante accumule les hétérosides cardénolides dans tous les organes, les feuilles renferment environ 1,5 % de cardénolides, dont 0,1% d'oléandrine (Bruneton, 1999). Les mécanismes responsables de la toxicité des cardénolides sont identiques à ceux des glucosides de la digitale classique agissant principalement sur l'inhibition de l'activité na K ATPase membranaire et par l'élévation du calcium intracellulaire. Toutefois la plante renferme néanmoins des substances utilisées en médecine et est doté de propriétés pharmacologiques, cardiotoniques, antibactériennes et antiparasitaires (Delille, 2007; Ibrahim *et al.*, 2007). En médecine traditionnelle les feuilles fraîches ou séchées du laurier rose sont utilisées pour le traitement de nombreuses maladies (Adom *et al.*, 2003). Dans les pays du Maghreb, les décoctions de feuilles sont employées en usage externe contre certaines maladies de la peau et contre la chute des cheveux (Baba-Aissa, 1999 ; Bnouha *et al.*, 2002). Ses propriétés insecticides méritent de plus amples investigations afin d'identifier la ou les molécules responsables. Si le puceron phytophage *Aphis nerii* Fons. est capable de détoxiquer les molécules toxiques de *N.oleander* grâce au développement de systèmes enzymatiques (Hodek & Honek, 1996), *S. gregaria* semble en être incapable.

## Conclusion générale

Trois principaux points sont abordés sur la sauterelle pèlerine, d'abord l'étude du processus de grégarisation puis la recherche de foyers grégarigènes naturels au Sahara algérien et enfin la toxicité des huiles essentielles extraites des feuilles de *N. oleander* sur les larves L5. Cette étude est une première pour la valorisation de toutes les informations accumulées par la FAO sur le Criquet pèlerin et pour l'utilisation de la télédétection spatiale. Pour ce qui concerne le processus de grégarisation, en période de rémission, et durant les années 2007 à 2010, les populations de *S. gregaria* s'étendent dans la région d'étude entre 19° 58' et 30° 11' N. Les plus hautes fréquences des solitaires et des transiens sont enregistrées dans l'Oued Saoura, au centre dans la région d'Adrar et au nord-ouest de Tamanrasset. *S. gregaria* y développent toutes les formes phasaires mais avec des différences dans la composition. En effet le stade phasaire dominant demeure celui des individus solitaires. Ils occupent 82,4 % des relevés. Les populations transiens, avec un taux de 16,8 %, s'observent presque chaque année tandis que les populations grégaires, avec 0,8 %, apparaissent, très faiblement, une année sur quatre et ne sont constituées que par des larves. La présence de larves et des ailés solitaires est mentionnée au Sahara en hiver et au printemps et se prolonge en été pour les ailés. Cependant la fréquence des larves est beaucoup moins importante que celle des ailés. Elles sont surtout fréquentes en décembre et en mai. Par contre les transiens sont fréquents durant deux principales périodes, soit de mai à juin et de novembre à décembre. Les fréquences élevées sont remarquées en mai pour les larves et en novembre pour les ailés. Mais les grégaires ne sont signalés qu'en mai de l'année 2007. Ces fréquences mensuelles des différents stades phénologiques et phasaires laissent supposer que deux reproductions sont intervenues dans la région d'étude, l'une hiverno-printanière, entre février et mai et l'autre estivo-automnale entre août et novembre. La classification ascendante hiérarchique confirme que la région d'étude constitue une zone de transformation phasaire de *S. gregaria* et elle a également permis d'expliquer la variabilité mensuelle de la situation des populations au cours de la période d'étude en mettant en exergue les principales populations présentes et leurs phénophases. Cette analyse a permis également de confirmer qu'en période de rémission la transformation phasaire se produit au cours de deux périodes de l'année l'une d'avril à juin et l'autre en novembre-décembre.

Le déficit en pluviométrie enregistré en 2007 durant la période hiverno-printanière au Sahara central et méridional et estivale au Sahara occidental aurait contribué à l'accroissement des effectifs des populations autochtones de *S. gregaria* sur des surfaces végétales restreintes représentées par les cultures irriguées et par la végétation persistante sur les zones d'épandage.

Cela a aussi permis le déclenchement de la transformation phasaire. L'amélioration des conditions pluviométrique l'année suivante et les températures saisonnières favorables ayant conduit à des reproductions régulières du Criquet pèlerin ont permis le maintien de la transformation phasaire dans le Sahara central et méridional. La pérennité des surfaces irriguées, notamment celles des périmètres de mise en valeur, dans le Sahara central, en présence de bonnes ou mauvaises conditions climatiques, fait durer la transformation phasaire durant les quatre années d'étude. Mais au Sahara méridional et dépendamment de la pluviométrie, le processus ne s'est produit que durant deux années consécutives, soit en 2007 et en 2008, dans les sites naturels en particulier les zones d'épandages. Les milieux anthropisés constituent ainsi des biotopes favorables au déroulement annuel de la grégarisation. L'interconnexion de l'Algérie avec la Mauritanie, le Mali et le Niger constitue également une source d'accroissement des effectifs et mériterait d'être étudiée. L'examen de l'action de la pluviométrie et de la température moyenne sur l'occurrence mensuelle *S. gregaria* montre, en général, que la pluviométrie n'a pas d'effet sur la présence des populations acridiennes, bien qu'elle explique le mieux l'apparition de la végétation. Par contre, la température moyenne présente un effet hautement significatif. Néanmoins les faibles valeurs de corrélations obtenues pour ce facteur ne suffisent pas pour cerner le phénomène de grégarisation. Ce dernier se produit dans des sites localisés alors que les stations météorologiques sont rares et très dispersées dans le Sahara. L'étude morphométrique des individus capturés en 2010 dans la région d'Adrar, au Sahara central, a montré que les populations capturées ont une structure phasaire très hétérogène. Dans la région d'Aoulef, les populations sont constituées par des individus typiquement solitaires, transiens dégrégans, transiens congregans et grégaires. A Zaouiet Kounta les populations sont composées d'individus solitaires, transiens dégrégans et de quelques individus en phase transiens congregans. Ces résultats confirment l'absence des populations grégaires dans la zone d'étude et sont assez similaires à ceux obtenus par plusieurs auteurs, ayant étudié les populations des différents secteurs du Sahara algérien.

L'exploitation de l'outil télédétection spatiale à haute résolution dans l'identification des foyers de grégarisation naturels potentiels au Sahara a permis de qualifier et de quantifier les états de surface du sol sur une aire couvrant 21.450,72 km<sup>2</sup> et qui s'étend entre les latitudes 29° 59' et 31° 06' Nord et les longitudes 0° 09' à 1° 59' Est. Ces limites géographiques se situent en dehors des latitudes des occurrences précédemment définies pour les populations de *S. gregaria*. L'aire d'étude couvre les extrémités Sud de l'Erg occidental représentées par Béchar et El Bayadh et la grande partie correspond au Sahara central.

Le traitement de l'image Landsat TM du 9 avril a permis de réaliser quatre principales cartes celles de l'indice de végétation (NDVI), de l'indice de brillance, de l'indice de rougeur des sols et de l'occupation du sol. Dans l'aire d'étude le NDVI varie de - 0,07 à 0,40. Les sols nus et les sables ont les valeurs positives les plus faibles tandis que la présence de végétation faible est indiquée par des valeurs comprises entre 0,30 et 0,35. Les valeurs allant de 0,35 à 0,40 correspondent à une végétation dense. L'indice de brillance de l'aire d'étude varie de 73 à 226. Les faibles valeurs, comprises entre 73 et 119 s'observent dans les extrémités de l'aire d'étude, elles traduisent la présence des regs et des sols calcaires et gréseux. Par contre, les valeurs élevées de l'indice de brillance reflètent la dominance de l'ensablement et des dunes de sable et une faiblesse voire une absence du couvert végétal. Quant à l'indice de rougeur, il a mis en évidence la dominance de l'ensablement en particulier dans la partie central de l'aire d'étude avec des valeurs de l'indice inférieur à 20. La superposition des cartes du NDVI, de l'indice de brillance et de l'indice de rougeur a permis d'établir la carte d'occupation du sol à partir de laquelle quatre principaux thèmes ont été identifiés, celui de la végétation, de l'ensablement, des ergs et des regs. L'aire d'étude est largement dominée par l'ensablement qui occupe 73,6 % de la superficie totale, suivi par les ergs avec un taux de 18 %, ensuite les regs avec 5,7 %. La végétation naturelle y est très faible et localisée avec un taux de 2,0 % correspondant à 42.312,27 ha. Elle est plus importante dans le Sahara central, sur le plateau de Tademaït, au nord et au sud de l'aire d'étude et occupe surtout les zones des ergs et des regs. Au Sahara occidental, dominé par le Grand Erg occidental, la végétation est faible et se développe notamment sur les regs et les abords des dunes de sable. La végétation est restreinte au sud-est, au nord et au nord-ouest de l'aire d'étude. Il s'agit d'une végétation naturelle essentiellement herbacée et faiblement arbustive. Au sud-ouest de la région occidentale, la végétation est limitée entre 30°30' et 31° 03' de latitude et 0° 09' et 0° 30' de longitude Est.

Elle est beaucoup plus faible à Béchar qu'à El Bayadh. Par contre dans le Sahara central, la végétation occupe deux sites l'un au Nord entre 30° 30' et 31° 03' de latitude et de 1° à 1° 57' de longitude Est, et l'autre, plus important au Sud-est entre 29° 64' et 30° de latitude nord et 1° à 1°57' de longitude Est. Le centre de l'aire d'étude, représenté par Adrar est couvert par les ensablements et il est dépourvu de végétation à l'exception de celles qui se fixent aux abords des dunes. Cette zone ne peut pas constituer un attrait pour les populations du Criquet pèlerin en phase de rémission. A l'exception de la région de Béchar, les autres zones identifiées peuvent constituer des foyers potentiels de reproduction et de grégarisation de *S. gregaria*.

Il y a lieu de préciser que cette identification dans ce vaste territoire n'aurait pas pu être réalisée sans le recours à l'imagerie satellitaire, qui demeure un outil indispensable d'optimisation de la surveillance des populations acridiennes dans les aires grégarigènes. Ces résultats devraient également aider à rationaliser les prospections de terrain et aussi les interventions exclusivement chimiques. En effet l'étendue du Sahara et l'accès difficile aux zones, rendent les opérations de prospection terrestres fastidieuses et coûteuses. A l'inverse des périodes d'invasion, en période de rémission, les populations de la sauterelle pèlerine demeurent dispersées et ne se concentrent que dans des biotopes bien définis du Sahara où elles peuvent constituer un réel danger. Cela devra aider non seulement à rationaliser les applications chimiques mais aussi et surtout à diversifier les moyens de lutte. D'autant plus que plusieurs travaux ont montré l'efficacité des entomopathogènes et des extraits de plantes, présents au Sahara, non consommés par les populations de *S. gregaria*. Parmi ces plantes le laurier rose paraît prometteur et pourrait être intégré dans un programme de lutte raisonnée. En effet l'étude de la toxicité par ingestion des huiles essentielles de *Nerium oleander*, dans les conditions du laboratoire, a montré que *N. oleander* exerce un effet répulsif et biocide sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*. Le rejet de consommation des feuilles de choux traité à l'huile essentielle s'est produit au second jour et la mortalité totale des larves intervient au septième jour de l'essai avec un TL<sub>50</sub> de 3,7 jours. Ces résultats montrent également que *N. oleander* est plus toxique vis-à-vis des larves que la majorité des autres plantes citées dans les travaux similaires telles que *Peganum harmala*, *Azadirachta indica* et *Euphorbia guyoniana*.

## Perspectives

Les principales perspectives qui apparaissent à l'issue de cette étude concernent la réalisation de travaux au laboratoire et sur le terrain afin d'élucider au mieux le processus de grégarisation. Au laboratoire Il s'agit notamment d'étudier les effets de la couleur du substrat du sol, de l'humidité, de la qualité alimentaire et de l'intensité de la température. La caractérisation des stades phasaires pourraient également faire l'objet des techniques de biologie moléculaire. Sur le terrain et afin d'approfondir les recherches sur l'effet du climat par rapport au processus de grégarisation, il faudrait non seulement renforcer les stations météorologiques mais peut être mieux encore utiliser des mini stations localisées sur les sites potentiellement favorables aux Criquet pèlerin afin de collecter des observations utiles et de pouvoir étudier le phénomène de transformation phasaire avec précision. Cela permettra de définir un modèle de dépendance entre les variables climatiques et les stades phasaires. Les variables climatiques pouvant être étudiés sont la température minimale ou maximale de l'air et du sol, l'amplitude thermique, le cumul de températures ainsi que l'humidité, l'évaporation et les précipitations journalières. D'autre part comme le facteur hydrique en zone désertique conditionne le développement du couvert végétal, il serait souhaitable d'exploiter les données météo satellitaires et les calibrer avec les données du service météo national, eux mêmes à compléter par les mini stations localisées. Cela permettra de créer un référentiel climatique de la zone d'étude qui contribuera à prévoir les accroissements d'effectifs et la transformation phasaire. Il serait aussi nécessaire de traiter plusieurs images satellitaires de haute résolution prises dans des conditions pluviométriques optimales et différentes sur le plan spatio-temporelle. Ceci devrait aider à établir un modèle de la distribution des ressources végétales et de cerner par conséquent les différents foyers de grégarisation. En s'appuyant sur l'outil de télédétection, les biotopes de petite taille constitués par les oueds, les zones d'épandage et les dépressions, importants pour la reproduction du Criquet pèlerin, doivent être également identifiés. Pour ce qui concerne la lutte biologique par l'utilisation des extraits de plantes des précisions sur les propriétés insecticides de *N. oleander* méritent de plus amples investigations afin d'identifier la ou les molécules responsables de la mortalité des larves. Les études devraient être aussi élargies aux champs et aux effets des extraits de plantes sur la faune utile afin d'écarter ceux qui n'ont aucun intérêt en lutte acridienne.

## Références bibliographiques

- 1 - Abassi A., Atay-Kadiri Z. et Ghaout S., 2003 - Caractérisation des populations de *Schistocerca gregaria* (Forsk. 1755), durant la recrudescence de 1995 au sud du Maroc. *Journal Orthoptera Research*, 12 (1): 63 - 69.
- 2 - Abbassi K., Atay Kadiri Z. et Ghaout S., 2004 - Activité biologique des feuilles de *Calotropis procera* (Ait. R. Br) sur le Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forsk. 1775). *Zool. Baetica*, 15: 153 - 166.
- 3 - Abbassi K., Mergaoui L., Atay Kadiri Z., Ghaout S. et Stambouli A., 2005 - Activités biologiques des feuilles de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) en floraison sur la mortalité et l'activité génésique chez le Criquet pèlerin. *Zool. Baetica*, 16: 31- 46.
- 4 - Abdallah H. et Saporta G., 1998 - Classification d'un ensemble de variables qualitatives. *Rev. Statistique Appliquée*, 46 (4): 5 - 26.
- 5 - Achoura A. et Belhamra M., 2010 - Aperçu sur la faune arthropodologique des palmeraies d'el-Kantara. *Courrier du Savoir*, 10: 93 - 101.
- 6 - Adom R.O., Gachichi J.W., Negi B., Tamale J. and Apio, S.O., 2003 - The cardiotoxic effect of the crude ethanolic extract of *Nerium oleander* in the isolated guinea pig hearts. *African Health Sciences*, 3: 77 - 82.
- 7 - Afnor, 1986 - *Guide de bonne pratique pour le choix, le stockage, l'utilisation et l'entretien. Fascicule de documentation*. Ed Association française de normalisation (Afnor), Paris, 12 p.
- 8 - Ammar M., Barbouche N. et Benhamouda M., 1995 - Action des extraits décomposés des feuilles de *Cestrum parqui* et de *Olea europea* sur la longévité et la croissance du criquet *Schistocerca gregaria*. *Med. Fac. Landbouww., Univ. Gent*, 60(3a): 831 - 835.
- 9 - Appert J. et Deuse J., 1982 - *Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 420 p.
- 10 - Armbruster P. and Hutchinson R. A. 2002 - Pupal mass and wing length as indicators of fecundity in *Aedes albopictus* And *Aedes geniculatus* (Diptera:Culicidae). *J. Med. Entomol.*, 39: 699 -704.
- 11 - Askri H., Belmecheri A., Benrabah B., Boudjema A., Boumendjel K., Daoudi M., Drid M., Ghalem T., Docca A. M., Ghandriche H., Ghomari A., Guellati N., Khennous M., Lounici R., Naili H., Takherist D. and Terkmani M., 1994 - *Geology of Algeria*. Schlumberger WEC. Ed. Sonatrach, Alger, 93 p.
- 12 - Aubry P. et Egretaudt C., 1994 - Classification non dirigée optimale d'une image monocanal. *Int. J. Remote Sensing*, 15 (18): 3839 - 3843.



- 13** - Azizi N., El Ghadraoui L. and Petit Daniel L., 2010 - A simple diet for the rearing success of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae). *Bull. Société entomol. France*, (4): 445 - 450.
- 14** - Baba Aissa F., 1999 - *Encyclopédie Des Plantes Utiles. Flore d'Algérie et du Maghreb*. Ed Edas. Librairie moderne, Rouïba, Alger, 368 p.
- 15** - Bagari M., Bouhaimi A., Ghaout S. and Chihrane J. 2013. The toxic effects of *Nerium oleander* on larvae of the desert locust *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae). *Zool. Baetica*, 24: 193 - 203.
- 16** - Bakkali H., Ababou M., Nassim Sabah T., Moussaoui A., Ennouhi A., Fouadi F.Z., Siah S. and Ihray H., 2010 - Chemical burns caused by the shrub *Nerium oleander*. *Ann Burns Fire Disasters*, 23 (3): 128 - 130.
- 17** - Barbosa R.R., Fontenele-Neto J.D. and Soto-Blanco B., 2008- Toxicity in goats caused by oleander (*Nerium Oleander*). *Research Veterinary Sci.*, 85 (2): 279 - 281.
- 18** - Barbouche N., Hajlem B., Georges L. et Ammar M., 2001 - Contribution a l'étude de l'activité biologique d'extraits de feuilles de *Cestrum parqui* L'hérit. (Solanaceae) sur le Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk.). *Biotechnol. Agro. Soc. Envir*, 5 (2): 85 - 90.
- 19** - Barry J.P., 1991 - Bioclimat et végétation des montagnes du Sahara central et du Sahara occidental. *Rev.Géographie alpine*, 79 (1): 55 - 70
- 20** - Barry J.P. et Celles J.C., 1972 - Le Problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien. *Naturalia monspeliensia, Sér. Bot.*, (23 – 24): 5 - 48.
- 21** - Barry J.P., Celles J.C. et Maniere R., 1976 - Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien. Note II. Le Sahara central et le Sahara méridional. *Naturalia monspeliensia, Sér. Bot.*, 26: 211 - 242.
- 22** - Barry J-P., Celles J-C. et Musso J., 1985 - Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien. Note IV: Le Plateau du Tadmait et ses alentours (Carte Ouargla). *Ecologia mediterranea*, 11 (2-3): 123 - 181
- 23** - Belazzougui M., 2009 - Problématique du Criquet pèlerin en Algérie. *Atelier Internati. Formation risques majeurs, catastrophes naturelles*, 16 - 17 décembre 2009, Crstra, Biskra,; 55 - 61.
- 24** - Benfekih L., Foucart A. and Petit D., 2011 - Central Saharan populations of *Locusta migratoria cinerascens* (orthoptera: acrididae) in irrigated perimeters: Is it a recent colonisation event?. *Ann. Soc. Entomol. France*, (N.S), 47 (1-2): 147 - 153.

- 25** - Benguerrai A. et Belgharbi B., 2014 - Apport des Sig et la télédétection dans l'évaluation de l'écosystème steppique pour un développement durable (Algérie occidentale). *Revue Agro-Ecologie*, 2 (2) : 43 - 49.
- 26** - Benhouhou S. et Benghanem A.N., 2013 - Flore et végétation du Sahara Algérien : synthèse et perspectives de recherche. *Colloque Sahara impacts changements environn. extrêm. biodivers.*, 28-29 novembre 2013, Aix -en -Provence, : 29 p.
- 27** - Bensaad H. and Doumandji-Mitiche B. 2014 - Phasal state of *Schistocerca gregaria* Forskal, 1775 (*Orthoptera, Acrididae*) in the breeding biotopes of Algerian Sahara during 2009 and 2010. *Internati. Journal Zool. Research*, 4 (5): 27 - 34
- 28** - Benslimane M., Hamimed A., Zerey W. E., Khaldi A. et Mederbal K., 2009 - Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *VertigO, Rev. électronique sci. environn.*, 8 (3): 1 - 18.
- 29** - Bissaad F.Z., Youcef M., Bounacerur F. et Doumandji Mitiche B., 2012 - Activité biologique d'un biopesticide le green muscle sur le tégument du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (*Orthoptera, Acrididae*). *Nature et Technologie*, (6): 51 – 58.
- 30** - Bisson J. 2003. *Mythes et réalités d'un désert convoité, le Sahara*. Edition l'Harmattan, paris, France, 479p.
- 31** - Bnouha M.M, Mekhfi H., Legssyer A. and Ziyat A., 2002 - Ethno pharmacology forum medicinal Plants used in the treatment of diabetes in Morocco. *Int. J. Diabetes et Metabolism*, 10: 33 - 50.
- 32** - Bossard R. et Cuisance P., 1984 - *Arbres et arbustes d'ornement des régions tempérées et méditerranéennes*. Vol 1, Ed J.B. Baillères, Paris, 600 p.
- 33**- Bouaichi A. and Simpson J., 2003 - Density-dependant accumulation of phase characteristics in natural population of the desert locust *Schistocerca gregaria*. *Physiological entomology*, 28: 25 – 31.
- 34** - Bouallala M. et Chehma A., 2011 - Biodiversité et palatabilité des plantes des parcours camelins à talh "*Acacia raddiana*" dans la région de Tindouf (Algérie). *Rev. Bioressources*, 1 (2) : 55 - 65.
- 35** - Bouallala M. et Chehma A., 2014 - Biodiversité et phytogéographie des écosystèmes sahariens de la région de Taghit (Béchar). *Algerian journal arid environment*, 4(1): 39 – 44.

- 36** - Boughdad A., 1991 - *Caractéristiques morphométriques des populations adultes de Schistocerca Gregaria* (Forsk., 1775) (Orthoptères, Acrididae) durant L'invasion du Maroc en 1987 et en 1988. in : *la lutte anti- acridienne*. Ed. Apelf-Uref, Paris, 45 - 52.
- 37** - Brader L., Djibo H., Faye F. G., Ghaout S., Lazare M., Nguala P. M. and Ould Babah M. A., 2006 - *Towards a more effective response to desert locusts and their impacts on food insecurity, livelihoods and poverty. Independent multilateral evaluation of the 2003-05 desert locust Campaign*. Ed. Food and Agriculture Organization, Rome, 92 p.
- 38** - Brown, J. W. and Opler P. A., 1990 - Patterns of butterfly species density in peninsular Florida. *Journal Biogeography*, 17: 615 - 622.
- 39** - Bruneton J. 1999. *Pharmacognosie. Phytochimie, Plantes Médicinales*. Ed. Tec & Doc, Paris, 1120 p.
- 40** - Bruneton J., 2001 - *Plantes toxiques. Végétaux dangereux pour l'homme et les animaux*. Ed. Tec & Doc, Paris, 564 p.
- 41** - Carre P., 1953 - *Précis de technologie et de chimie industrielle*. Ed J. B Ballière et Fils, Paris : 238 p.
- 42** - Chara B., 1995 - *Eléments sur la biologie et l'écologie du Criquet pèlerin Schistocerca Gregaria* (Forskäl, 1775). *Stage de formation en lutte antiacridienne, 17 -27 septembre 1995*, Ed. Inst. Nati. protec. vég., Org. agri. dev. arab., El Harrach, Alger.
- 43** - Chehma A., 2011 - Le Sahara en Algérie, situation et défis. *Séminaire sur l'effet du changement climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du Maghreb, 21-24 novembre 2011, Univ. Kasdi Merbah, Ouargla*,:14 – 21.
- 44** - Chen S., Yang P., Jiang F., Wei Y., Ma Z. and Kang L., 2010 - De novo analysis of transcriptome dynamics in the migratory locust during the development of phase traits. *PLoS one*, 5(12), 1-15.
- 45** - Chevalier A., 1932 -Les productions végétales du Sahara et de ses confins Nord et Sud. *Rev. Bot. appl*, 12: 669 - 924.
- 46** - Chiasson H. et Beloin N. 2007. Les huiles essentielles, des biopesticides «nouveau genre». *Antennae*, 14(1): 3 - 6.
- 47** – Copr, 1981 - *Desert Locust Forecasting Manual*.-Centre for Overseas Pest Research. Éd Pedgley D., London, T. 2, 142 p.
- 48** - Dakiche A., 2006 - Impact de la sécheresse sur les ressources en eau superficielle : application a la région ouest du pays. *Actes séminaire nati. ressources eau utilisations (S.n.r.e.u)*, 6 - 7 mai 2006, Khémis Miliana.
- 49** - Delille L., 2007 - *Les plantes médicinales d'Algérie*. Edition Berti, Alger, 122 p.

- 50** - Derruau M., 1967- *Précis de géomorphologie*. Ed Masson et Cie , Paris. 415 pages.
- 51** - Deshayes M. et Chery J.P., 2000 - Sig, définitions et contraintes de mise en place. *Forêt Méditerranéenne*, T. 21, 1: 67 - 69.
- 52** - Deshayes M. et Maurel P., 1990 - L'image spatiale e et son contenu. La Télédétection en Agriculture. *Options Méditerranéennes* , Ciheam-Iamm , 4, série A : 11-20.
- 53** - Desjardins R. et Cavayas F.,1991 - Possibilités et limites des images satellites TM Landsat en matière d'occupation du sol : Le cas de Montréal (Québec). *Cahiers de Géographie du Québec*, 35 (94) : 137 - 151.
- 54** - De Smet K., Maziz S. B., Fellous A., Belbachir F., Belbachir-Bazi, A., Commizoli P., et Wachter T., 2009 - *Inventaire de la faune sauvage des zones désertiques en Algérie (Grand Erg Occidental)*. Rapport de mission 3-15 mars, 2007. Fonds pour la Conservation du Sahara, 28 p.
- 55** - Didier M., 1990 - *Utilité et valeur de l'information géographique*. Ed. Economica, Paris, 255 p.
- 56** - Diop B. and Wilps H., 1997 - *Field Trials with neem oil and Melia volkensii on Schistocerca gregaria*. In *new strategies in locust control*. Éd Birkhäuser, Basel, pp. 201 - 207.
- 57** - Dirsh V. M., 1953 - Morphometrical studies on phases of the desert locust (*Schistocerca gregaria*, Forskal). *Anti-locust Bull*, 16: 1 - 34.
- 58** - Dirsh V.M., 1965 - *The African Genera of Acridoidea*. *Anti locust centre*. Cambridge Univ Press, London, 579 p.
- 59** - Dirsh, V.M., 1974 - *Genus Schistocerca (Acridomorpha, Insecta)*. Dr. W. Junk B.V. Publishers, The Hague, 238 p.
- 60** - Doumandji-Mitiche B. et Doumandji, S. 2008 - Quelques agents biologiques susceptibles d'être utilisés en lutte antiacridienne. *Rev. Régions arides*, 3 (21): 1154 - 1158.
- 61** - Doumandji-Mitiche B., Doumandji S., Benfekih L., 1993 - Régime alimentaire du Criquet marocain *Dociostaurus maroccanus* (Thumberg, 1815), (Orthoptera, Acrididae) dans la région de Ain Boucif (Médéa, Algérie). *Med. Fac. Landbouww., Univ. Gent*, 58 (2a): 347 - 354.
- 62** - Doumandji-Mitiche B., Doumandji S., Seddik A. et Ouchen D., 1996 - Comparaison des indices morphométriques de la sauterelle pèlerine *schistocerca gregaria* à Adrar et Tamanrasset (Sahara, Algérie). *Med. Fac. Landbouww., Univ. Gent*, 61 (3a): 777 - 780.
- 63** - Doumandji-Mitiche B., Doumandji S., Abdouali R., Chebli A. et Kaidi N., 2014 - Comparaison de la biodiversité végétale entre le contenu du régime alimentaire de *Schistocerca gregaria* et son biotope à Biskra, Adrar, Tamanrasset et Djanet (Algérie). 2<sup>ème</sup> *Congrès International de la Biodiversité Végétale, Marrakech 27 - 29 mars 2014*.

- 64** - Doumandji-Mitiche B., Halouane F., Bensaad H., Bissaad F.Z. and Cherief A., 1999 - The efficiency of *Beauveria bassiana* (Bals) against *Locusta migratoria* and *Schistocerca gregaria* (Orthoptera, Acrididae). *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent*, 64, (3a): 205 - 209.
- 65** - Doumandj S. et Doumandji-Mitiche B., 1994 - *Criquets et Sauterelles (Acridologie)*. Ed. Office Public. Univ., Alger, 99 p.
- 66** - Doumandji S., Doumandji-Mitiche B., Ould El Hadj M D. et Harizia A., 2005-Place de lutte rationnelle contre la sauterelle pèlerine, *Schistocerca gregaria* (Forskal, 1775) (Orthoptera-Cyrtacanthacridinae). Quatrième Journée Nationale d'Acridologie, INA-El Harrach (Alger), 6 mars 2005.
- 67** - Dubief J., 1952 - *Le vent et le déplacement du sable au Sahara*. Ed. Inst. Rech. Sah, Alger, T. 8, 123 - 163.
- 68** - Dubief J., 1953 - Les vents de sable au Sahara. Proceeding colloques internationaux du centre national de la recherche scientifique. «Actions éoliennes - Phénomènes d'évaporation et d'hydrologie superficielle dans les régions arides», Alger, 27-31 mars. Editions du centre national de la recherche scientifique, Paris : 45-70.
- 69** - Dubost D., 2002 - *Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis Algériennes*. Editions du Crstra, Biskra, Algérie, 423 p.
- 70** - Duranton J.F. et Lecoq M., 1990 - *Le Criquet Pèlerin Au Sahel*. Collection Acridologie opérationnelle n°6. Comité inter- états de lutte contre la sécheresse dans le sahel, département de formation en protection des végétaux, Niamey ,183 p.
- 71** - Duranton J.F., Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1982 -Manuel de prospection acridienne en zone Tropicale sèche ». Ed. GERDAT, Paris, T.1, 695p.
- 72** - Duranton J.F., Launois M.. Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1981 - Recherches sur les ravageurs des cultures vivrières au Sahel : le cas des sauteriaux. *Agronomie Tropicale*, 36 (2): 179 - 184.
- 73** - El-Gammal A.M., Karrar A.H., Mohamed M.T. and Ghoneim, K.S., 1988 - Antifeeding effects of some wild plants in the eastern desert of Egypt and Sudan to *Schistocerca dregaria* Forskal (Orthoptera: Acrididae). *J. Fac. Educ., Ain Shams Univ*, 13 : 251-262.
- 74** - Emeterio J.L.S., Lacaze B. et Mering C., 2009 - Détection des changements de la couverture végétale au Sahel à partir des données NDVI et précipitations. *Journées d'animation Scientifique (Jas09) de L'AUF, Alger*, 8-11 novembre, 2009.

- 75** - Fao, 2003 - *Biogéographie du Criquet pèlerin en Mauritanie. Fonctionnement d'une aire grégarigène et conséquences sur l'organisation de la surveillance et de la lutte antiacridienne. Stations de recherche acridienne sur le terrain. Séries Techniques*. Ed. Food Alimentary Organisation, United Nations, Rome, 122 p.
- 76** - Gachkar L, Yadegari D, Rasooli I, Rezaei M B, Taghizadh M. 2007. Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential Oils. *Food Chemistry*, 102: 898-904.
- 77** - Gardi R.,1973 - *Sahara*. 3ème edit. Ed Kummerly et Frey, Paris: 49-51.
- 78** - Georges K., Jayaprakasam B., Dalavoy S. S. and Nair M. G., 2006 - Pest-managing activities of plant extracts and anthraquinones from *Cassia nigricans* from Burkina Faso. *Biores. Tecn*, 99: 2037 - 2045.
- 79** - Ghoneim K.S., 2015 - Disturbed Acetylcholinesterase activity in haemolymph and fat bodies of *Schistocerca gregaria* (Forsk)(Orthoptera: Acrididae) by extracts of pomegranate *Punica granatum* Linn. and toothpick weed *Ammi visnaga* L. *Review of Knowledge Economy*, 2 (1): 39 - 53.
- 80** - Ghoneim K.S. and Abdel-Ghaffar A.A., 2007- Effectiveness of certain plant extracts on transaminase activities of the house fly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *J. Biol. Pharm. Sci.*, 5(1): 1 - 12
- 81** – Ghoneim K.S., Tanani M.A. and Basiouny, A.L., 2009 - Influenced survival and development of the desert locust *Schistocerca gregaria* (Acrididae) by the wild plant *Fagonia bruguieri* (Zygophyllaceae). *Egypt. Acad. J. Biol. Sci.*, 2(2), 147 - 164.
- 82** - Ghram-Messedi A. et Delaître E., 2007- Les états de surface en zone aride à partir d'indices radiométriques et de classifications multi temporelles d'images Landsat TM prises sur la région de Menzel Habib (Tunisie méridionale). *Sécheresse*, 18(4) : 305 - 313.
- 83** - Gimaret-Carpentier C., Chessel D. and Pascal J.P., 1998- Non-symmetric correspondence analysis: an alternative for species occurrences data. *Plant ecology*, 138: 97 - 112.
- 84** - Girard M.C. et Girard C.M., 1999- *Traitement des données de télédétection*. Ed. Dunod, Paris, 529 p.
- 85** - Griguolo, S., 1996 - *Addapix: a programme for pixel-by-pixel classification for zoning and monitoring*. *Technical*. Report UN-Food Alimentary Organization, Rome, 78p.
- 86** - Guendouz-Benrima A., Duranton J.F. et Doumandji-Mitiche B., 2011- Chorologie des états phasaires et biologique du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk, 1775 (Orthoptera) en Algérie. Afpp - *Neuvième Conférence Internationale sur les ravageurs en agriculture*, 26 et 27 octobre 2011, Montpellier, : 484 - 492.

- 87** - Guendouz-Benrima A., Chara B., Duranton J-F. et Doumandji-mitiche B., 2002 - Caractérisation, par la végétation, des biotopes de multiplication et de grégarisation de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera : Acrididae) dans le sud Algérien. *Revue de Cytologie et Biologie Végétale-le Botaniste*, 25 (2-3) : 13 - 25.
- 88** - Guendouz-Benrima A., Duranton J.F., Benhammouda M.E.H. et Doumandji-Mitiche B., 2007- Distribution des populations de criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) Insecta orthoptera en période de rémission en Algérie de 1983 à 2000. *Sécheresse* 18(4): 246 - 253.
- 89** - Haddadj F., Hamdi S., Zenia S., SMAI A., Saadi H. et Doumandji-Mitiche B., 2014 - Effet du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* sur le Criquet pèlerin. *Afpp, Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, 22 et 23 octobre 2014, Montpellier*, 5p.
- 90** - Harizia A., and Doumandji S., 2014 - Biological activity of *Nerium oleander* L. (Apocynaceae) essential oil on 5th larval stage of *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera: Acrididae). *International journal zoology*, 4 (6): 19 - 28.
- 91** - Hielkema J. U., 1991 - Desert locust monitoring with satellite remote sensing. *ITC Journal*, (4): 387 – 417.
- 92** - Hodek I. and Honek A., 1996 - *Ecology of Coccinellidae*. Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 464 p.
- 93** - Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X. and Ferreira L.G., 2002 - Overview of the radiometric and biophysical performance of the modis vegetation indices. *Remote Sensing Environment* , 83: 195 - 213.
- 94** - Ibrahim K. A., Khalagi S., Youssef D., Khan I. and Mesbah M., 2007 - Stimulation of oleander in production by combined *Agrobacterium tumefaciens* mediated transformation and fungal elicitation in *Nerium oleander* cell cultures. *Enzyme Microbial Technology*, 41: 331 - 336.
- 95** - Idrissi Hassani, L. M. et Hermas J., 2008 - Effets de l'alimentation en *Peganum harmala* L.(Zygophyllaceae) sur le tube digestif du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae). *Zool. Baetica*, 19: 71 - 84.
- 96** - Jackson R. D., Slater. P. N. and Pinter P. J., 1983 - Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment*, 13: 187 - 208.
- 97** - Jeannel R., 1948 - La lutte biologique contre les sauterelles. *Acta Tropica*, 5 (4): 290 - 305.

- 98** - Jensen J. R., 1996 - *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 316 p.
- 99** - Joffe R. S., 1998 - *Economics and policy issues in desert locust management: A preliminary analysis*. Food Alimentary Org., Empres Workshop on economics in desert locust management, 21-22 September 1997, Cairo, 108 p.
- 100** - Kara F.Z. and Doumandji-Mitiche B., 2006 - Impact of entomopathogenic fungus *Metarhizium flavoviride* exposed to ultraviolet radiation on *Schistocerca gregaria*. *Ninth arab congress of plant protection*, 19-23 november 2006, Damascus.
- 101** - Kara-Toumi F.Z., Doumandji-Mitiche B., Guendouz-Benrima A. and Merah O., 2010 - Seasonal dimorphism of the desert locust in agricultural areas in the Sahara. *African entomology*, 18 (2): 313 - 321.
- 102** - Kemassi A., Boual Z., Lebbouz M., Dadi Bouhoun M., Saker M.L., Ould El hadj-Khelil A., et Ould El Hadj M.D., 2012 - Etude de l'activité biologique des extraits foliaires de *Cleome arabica* L. (Capparidaceae). *Lebanese Science Journal*, 13 (2): 81 - 97.
- 103** - Kemassi A., Boual Z., Ould El Hadj-Khelil A., Dadi Bouhoun M. et Ould El Hadj M.D., 2010 - Activité biologique de l'extrait d'*Euphorbia Guyoniana* (Boiss. et Reut.) (Euphorbiaceae) sur les larves du cinquième stade et sur les adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera-Acrididae). *Ann. Sciences technologie*, 2 (1): 61 -70.
- 104** - Kerris T., Djebili Y., Amoura S., Bouguerra S. et Rouibah M., 2008 - Essai d'utilisation du laurier rose *Nerium oleander* L. en lutte biologique contre le *Lymantria dispar*. 2<sup>ème</sup> Conférence internati. Biodivers.Invertébrés en milieu agricole et forestier, 14-18 avril, Inst. nati. agro., Alger,: 1 - 6.
- 105** - Kourim M.L., Doumandji-Mitiche B., Doumandji S. et Reggani A., 2011 - Biodiversité entomologique dans le parc national de l'Ahaggar. *Entomologie Faunistique, Faunistic Entomology*, 63 (3): 149 - 155.
- 106** - Latchininsky A.V. et Launois-Luong M.H., 1997 - *Le criquet pèlerin (Schistocerca gregaria Forskal, 1775) dans la partie Nord-orientale de son aire de distribution*. Ed. Cirad-Prifas, Montpellier, collection les acridiens, 29 : 210 p.
- 107** - Launois-Luong M. H. et Lecoq M., 1989 - *Vade-mecum des Criquets du Sahel*. Collection Acridologie Opérationnelle n°5. CILSS-DFPV, Niamey ,126 p.
- 108** - Launois M. et Launois-Luong M.H., 1998 - Du Criquet "météo-dépendant" à l'acrido-météorologie. *La météorologie*, 8 (21): 44 - 54.



- 109** - Lazare M., 2011 - Apport de l'imagerie Alsat-2A pour l'identification des zones favorables au criquet pèlerin. Wilaya de Tindouf. *Actes de l'atelier Alsat-2a -Utilisateurs*, 25-26 avril 2011, Alger, : 28 - 32.
- 110** - Lecoq M., 1991 - *Le Criquet pèlerin. Enseignements de la dernière invasion et perspectives offertes par la biomodélisation.* in : A. Essaid, *La lutte anti-acridienne.* Ed. Aupelf-Uref, John Libbey Eurotext, Paris, 71 - 98.
- 111** - Lecoq M., 2003 - Desert locust threat to agricultural development and food security and FAO International Role in its Control. *Arab Journal Plant Protection*, 21: 188 - 193.
- Lecoq M., 2004 - Vers une solution durable au problème du Criquet pèlerin ?. *Sécheresse*, 15(3): 1 - 8.
- 112** - Lecoq M., 2012 - *Supports de formation sur la bioécologie du Criquet pèlerin.* Ed. Clcpro-Empres en région occidentale, Montpellier, 217 p.
- 113** - Legall P., 1989 - Le Choix des plantes nourricières et la spécialisation trophique chez les Acridoidae (Orthoptera). *Bull. Ecol.*, 20 (3): 245 - 261.
- 114** - Lelubre M., 1952 - *Conditions structurales et formes de relief dans le Sahara.* Ed. Inst. Rech. Sahar. Alger, T. 8 :189 - 190.
- 115** - Lemee G., 1953 - Contribution à la connaissance phytosociologique des confins Saharo-marocains : les associations à Thérophytes des dépressions sableuses et limoneuses non salées. *Vegetatio*, 4 :137 - 154.
- 116** - Madaci B. Merghem R., Doumandji B. et Soltani N., 2008 - Effet du *Nerium oleander*, laurier-rose, (Apocynaceae) sur Le taux des protéines, l'activité de l'ache et les mouvements des vers blancs Rhizotrogini, (Coleoptera, Scarabaeidae). *Sciences Technologie*, 27: 73 - 78.
- 117** - Martini P., Lecoq M., Soumaré L. et Chara B., 1998 - *Proposition de programme de lutte contre le Criquet pèlerin dans la partie occidentale de son aire d'habitat.* Ed. Food agric. org., Rome, 92 p.
- 118** - Ma Z.Y., Guo W., Guo X., Wang X. and Kang L., 2011 - Modulation of behavioral phase changes of the migratory locust by the catecholamine metabolic pathway. *Proc. Nat. Acad. sci.*, 108: 3882 - 3887.
- 119** - Meneses-Tovar C.L., 2011 - L'indice différentiel normalisé de végétation comme indicateur de la dégradation. *Unasylva*, 62 (2): 39 - 46.
- 120**- Migliore J., Baumel A., Juin M., Duong N. et Médail F., 2013 - Des plantes méditerranéennes témoin des changements environnementaux passés au Sahara: un lien biogéographique revisité par la génétique. *Colloque "Sahara, impacts changements environnem. Extrêm. Biodivers."*, 28-29 Novembre 2013, Aix-en-Provence.

- 121** - Monod T., 1992 - Du désert. *Sécheresse*, 3 (1): 7 - 24.
- 122** - Mourelle C. and Ezcurra, E., 1996 - Species richness of Argentine cacti: A test of biogeography hypotheses. *Journal Végétation Science*, 7: 667 – 680.
- 123** - Ngamo L.S.T. and Hance T.H., 2007 - Diversité des ravageurs, des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 25 (4): 215 - 220.
- 124** - Ould Ahmadou M. L., Bouaichi A. et Idirissi Hassani L. M., 2001 - Mise en évidence du pouvoir répulsif et toxique de *Glinus Litoides* (Aizoaceae) sur les larves du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera – Acrididea). *Zool. Beatica*, 12: 109 - 117.
- 125** - Ould El hadj M.D., 2002 - Les nouvelles formes de mise en valeur dans le Sahara algérien et le problème acridien. Science et changements planétaires. *Sécheresse*, 13: 37 - 42.
- 126** - Ould El Hadj M.D., 2011- Le développement de la céréaliculture dans le Sahara algérien face aux problèmes acridiens. *Actes Séminaire Internati. Biodivers. Faunist. Zones Arides Semi-arides*, 19-20 janvier 2011, univ.é Kasdi Merbah, Ouargla,: 127 - 131.
- 127** - Ould El Hadj M.D., Tankari Dan-Badjo A. et Halouane F., 2003 - Etude comparative de la toxicité de trois substances acridifuges sur les larves du cinquième stade et sur les adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Cyrtacanthacridinae). *Courrier du Savoir*, 3: 81 - 86.
- 128** - Ould El Hadj M. D., Tankari Dan-Badjo A. et Halouane F., 2004 - Etude du cycle biologique de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) sur chou (*Brassica oleracea*) en laboratoire. *Courrier du Savoir*, 5: 17 - 21.
- 129** - Ould El Hadj M. D., Tankari Dan-Badjo A., Halouane F. et Doumandji S., 2006 - Toxicité comparée des extraits de trois plantes acridifuges sur les larves du cinquième stade et sur les adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera-Cyrtacanthacridinae). *Sécheresse*, 17(3) : 407 - 414.
- 130** - Outtar F., Doumandji-Mitiche B., Mouhouche F. et Doumandji S., 2011 - Méthodes alternatives en lutte antiacridienne. *Quatrième conférence internati. méthodes alternatives protect. Cultur.*, 8-10 mars 2011, Lille.
- 131** - Ozenda P., 1983 - *Flore du Sahara*. Ed. Centre Nati. rech. sci., Paris, 622 p.
- 132** - Ozenda P., 1991 - *Flore et végétation du Sahara*. Ed. Centre Nati. rech. sci., Paris, 663 p.
- 133** - Pasquier R., 1952 - Quelques propositions de terminologie acridologique concernant le comportement et l'aspect des Acrididae gregariaptés. *Ann. Inst. Agric. Rech. Exp Algérie*, 6 (6): 1 - 16.
- 134** - Peveling R., 2001 - Environmental conservation and locust control – possible conflicts and solutions. *Journal Orthoptera Research*, 10: 171 - 187.

- 135** - Piou C., Lebourgeois V., Benahi A.S, Bonnal V., Jaavar M.H., Lecoq M. and Vassal J.M., 2013 - Coupling historical prospection data and a remotely-sensed vegetation index for the preventative control of Desert locusts. *Basic Applied Ecology*, 14 (7): 593 - 604.
- 136** - Popov, G.B, 1989 - *Les larves des criquets du Sahel*. Ed. Overseas Development Natural Resources Institute, Chatham, 158 p.
- 137** - Popov G B. 1997 - *Atlas des aires de reproduction du criquet pèlerin*. Ed. Food and Agriculture Organization, Rome, 122 p.
- 138** - Popov G.B., Duranton J.F.et Gigault J., 1991 - *Etude écologique des biotopes du criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forskål, 1775) en Afrique nord occidentale. Mise en oeuvre et description des unités territoriales écologiquement homogènes*. Coll : Les Acridiens, Cirad-Prifas, Montpellier, 744 p.
- 139** - Popp J., Petö K. and Nagy J., 2013 - Pesticide productivity and food security. *Review Agronomy Sustainable Development*, 33: 243 - 255.
- 140** - Pouget M., Madeira J., Le Floc'h E. et Kamal S., 1991 - Caractéristiques spectrales des surfaces sableuses de la région côtière nord-ouest de l'Egypte: Application aux données satellitaires Spot. Deuxièmes journées télédétection. Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales. *Organisme rech. sci. techn.outremer*, 4 - 6 décembre 1990, Bondy, : 27 - 38.
- 141** - Quezel P., 1954 - *Contribution à l'étude de la flore et de la végétation du Hoggar*. *Monographies régionales 2*. Ed. Trav. Inst. Rech. Sahara, Alger, 164 p.
- 142** - Quezel P., 1960 - Flore et palynologie Sahariennes. Quelques aspects de leur signification biogéographique et paléoclimatique. *Bulletin Inst. franco. Afriq. Noire, T. 22, Série A (2)*: 354 - 360.
- 143** - Quezel P., 1965 - *La végétation du Sahara. Du Tchad à la Mauritanie*. Ed Masson et Cie, Paris, 333 p.
- 144** - Quezel P. et Simmoneau P., 1963 - Contribution à l'étude phytosociologique du Sahara occidental. L'action des irrigations sur la végétation spontanée. *Ann. Agro. Alger*, 13: 221 – 253.
- 145** - Ramade, F., 2007 - *Introduction à l'écotoxicologie: Fondement et application*. Ed .Tec et Doc. Lavoisier, Paris, 618p.
- 146** - Roffey J. and Major J.I., 2003 - *Desert locust population parameters. Technical series, Plant production and protection division*. Organisation Nations Unies alimentation agriculture, Rome, 35 p.
- 147** - Roux M., 1991 - « Sahara : géographie de l'imaginaire ». *Mappemonde*, 2: 8 - 11.

- 148** - Roux M., 2006 - *Algorithmes de classification*. Ed. Masson et Cie, Paris, 81 p.
- 149** - Roy J., 2001 - *Histoire d'un siècle de lutte anti-acridienne en Afrique. Contributions de la France*. Coll. Les acteurs de la science. Ed. L'harmattan, Paris, 278 p.
- 150** - Simpson S.J., Despland E., Haegele B.F. and Dodgson T., 2001 - Gregarious behaviour in desert locusts is evoked by touching their back legs. *Proc. Natl. Acad. Sci. Usa*, 98 :3895 - 3897.
- 151** - Sitouh M., 1976 - Relations entre les crues et *Schistocerca Gregaria* (Forskål) en phase solitaire dans le Sahara central de 1967 à 1972. *Ann. Inst. nat. agro, El Harrach*, 6 (4): 33 - 83.
- 152** - Soudani K., Le Maire G., Dufrière, E., François C., Delpierre N., Ulrich E. and Cecchini S., 2008 - Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from moderate imaging spectrometer (Modis) Data. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2643 - 2655.
- 153** - Stcherbinovsky N. S. 1952 - *Le Criquet pèlerin. Le problème de la protection des territoires méridionaux de l'URSS des invasions d'essaims de Schistocerca gregaria*. Izdatelstvo Selskokhozyaïstvennoï Literatury (Selkhozgiz), Moscou, 416 p
- 154** - Sword, G.A., Lecoq, M. and Simpson, S.J. 2010 - Phase polyphenism and preventative locust management. *Journal Insect Physiology*, 56 (8): 949 – 957.
- 155** - Symmons P.M. and Cressman K., 2001 - *Directives sur le Criquet pèlerin 1. Biologie et comportement*. Ed. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 42 p
- 156** - Tail G. et Doumandji-Mitiche B., 2006 - Effet acridifuge des plantes *Melia azedarach*, *Nerium oleander* et *Inula viscosa* et de leurs extraits sur le comportement alimentaire du criquet pèlerin *Shistocerca gregaria*. 6<sup>ème</sup> Conférence internationale entomologie, 2-6 juillet 2006, Rabat,; p. 99.
- 157** - Talia A., Meddi M. et Bekkoussa B.S., 2011- Etude de la variabilité de la pluviométrie dans les Hauts plateaux et le Sahara algérien. *Secheresse*, 22 : 149 - 158.
- 158** - Talia A., Meddi M. et Hamimed A., 2013 - Synthèse cartographique des pluies moyennes annuelles. 5<sup>ème</sup> colloque internati. ressources eau développement durable, 24-25 février 2013, Blida..
- 159** - Tanaka S., Harano K.I. and Nishide Y., 2012 - Re-examination of the roles of environmental factors in the control of body-color polyphenism in solitarious nymphs of the desert locust *Schistocerca gregaria* with special reference to substrate color and humidity. *Journal of Insect Physiology*, 58 (1): 89 - 101.

- 160** - Thiam A., 1991 - *Problématiques de l'utilisation des insecticides chimiques dans la lutte anti acridienne au Sahel*. Ed. Aupelf, Uref, Paris, 193 - 206.
- 161** - Trape S. et Trape J.F., 2013 - La faune aquatique du Sahara : biodiversité, origine et menaces. *Colloque Sahara impacts changements environnementaux extrêmes biodiversité*, 28-29 novembre 2013, Aix -En -Provence, 29 p.
- 162** - Tratalos J.A. and Cheke R.A., 2006 - Can NDVI GAC imagery be used to monitor desert locust breeding areas? . *Journal of Arid Environments*. 64 (2): 342 - 356.
- 163** - Tucker C. J., 1979 - Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 27 - 150.
- 164** - Uvarov B P., 1966 - *Grasshoppers and locusts. A handbook of general acridology. Vol. I*. Ed. Antilocust Research Center. Cambridge University Press: 481 p.
- 165** - Wachter T., De Smet K., Belbachir F., Belbachir-Bazi A., Fellous A., Belghoul, M., et Marker L., 2005 - *Inventaires de la faune du groupe d'intérêt sahélo-saharien. Partie 4. Massif central de l'Ahaggar, Algérie, mars 2005*. Ed. Fonds pour la Conservation du Sahara, 40 p.
- 167** - Waloff, Z., 1966 - The upsurges and recessions of the Desert Locust plague: an historical survey. *Anti-Locust mem*, 8: 111 p.
- 168** - Williams W.T., Lambert J.M. and Lance G.N., 1966 - Multivariate methods in plant ecology : similarity analyses and information-analysis. *J. Ecol.* 54: 427 - 445.
- 169** - Wilps H., Kirkilionis E. and Muschenich K., 1992 -The effects Of neem Oil and azadirachtin On mortality, flies activity, and energy metabolism of *S . gregaria* Forsk. A comparison between laboratory and Field locusts. *Comp.Biochem Physiol.*, 102: 67 - 71.
- 170** - Zhang Y.C., Rossow W.B., Lacis A.A., Oinas V. and Mishchenko M.I., 2004 - Calculation of radiative fluxes from the surface to top of atmosphere based on ISCCP and other global data sets: Refinements of the radiative transfer model and the input data. *Journal Geophysical Research*, 109: 1 - 27.

### **Autres références**

- 171** - FAO., 2007- *Bulletin sur le Criquet pèlerin. Locust watch. Archives sur le Criquet pèlerin*. 179 - Ed. Food and Agriculture Organization, Rome. N° : janvier 340 à décembre 351.
- 172** - FAO., 2008 - *Bulletin sur le Criquet pèlerin. Locust watch. Archives sur le Criquet pèlerin*. Ed. Food and Agriculture Organization, Rome. N° : janvier 352 à décembre 363.
- 173** - FAO., 2009 - *Bulletin sur le Criquet pèlerin. Locust watch. Archives sur le Criquet pèlerin*. Ed. Food and Agriculture Organization, Rome. N° : janvier 364 à décembre 375.

**174** - FAO., 2010 - *Bulletin sur le Criquet pèlerin. Locust watch. Archives sur le Criquet pèlerin.* Ed. Food and Agriculture Organization, Rome. N° : janvier 376 à décembre 387.

## Annexes

**Tableau 3** - Pluviométrie (mm) et températures moyennes (T ° C) mensuelles de la station météorologique d'Adrar (2007-2010)

Latitude 27°88'N - longitude 0°28' W - altitude 263 m

Mois	2007		2008		2009		2010	
	P mm	T °C	P mm	T °C	P mm	T °C	P mm	T °C
<b>I</b>	0	24	0	21	18,03	20,1	0	24,7
<b>II</b>	0	26,8	5,33	26,5	0	23,9	0	29,3
<b>III</b>	1,02	27,2	2,03	30,3	8,13	28,6	0	32,6
<b>IV</b>	0	33,1	0	34,5	0	32	0	37
<b>V</b>	0	37	0	38,2	0	38,7	0	37,5
<b>VI</b>	0	43,9	0	44	0	42,8	0	43,5
<b>VII</b>	0	46	0	46,8	0	46,8	0	46,7
<b>VIII</b>	3,04	45,3	0	45,4	0	45,6	0	45
<b>IX</b>	2,03	43,2	3,05	41,9	3,56	37,1	8,89	41
<b>X</b>	0	35,7	41,9	31,7	0	35,1	0	33,4
<b>XI</b>	0	27	0	24,2	0	27,7	0	27,2
<b>XII</b>	0	21,3	1,02	19,9	0	25,1	0	25,4

**Tableau 4** - Pluviométrie (mm) et températures moyennes (T ° C) mensuelles de la station météorologique de Béchar (2007-2010)

Latitude 31°5'N - longitude 2°23' W - altitude 773 m

Mois	2007		2008		2009		2010	
	P mm	T °C	P mm	T °C	P mm	T °C	P mm	T °C
<b>I</b>	4,06	10,85	2,03	12,1	9,15	12,6	0	15,3
<b>II</b>	5,08	14,7	7,87	15,75	7,12	15,4	3,56	19,6
<b>III</b>	0	15,2	0	20,4	35,05	19,45	0	22,4
<b>IV</b>	27,68	19,3	0	24,45	0	21,9	0	26,2
<b>V</b>	1,02	24,05	0	28,3	0	27,8	0	27,9
<b>VI</b>	0	30,35	0	33,75	4,07	33,4	0	32,55
<b>VII</b>	3,3	33,75	4,07	38	0,25	37,35	0	37,85
<b>VIII</b>	12,2	33	1,02	36,7	0	36,45	0	36,45
<b>IX</b>	5,08	29,5	5,08	31,65	38,09	28,3	5,08	32,15
<b>X</b>	19,05	21,95	34,03	22,25	0	25,8	12,19	24
<b>XI</b>	0	15,45	3,05	15,7	0	18,95	0	18,95
<b>XII</b>	22,86	10,2	0,76	12,1	0	16,3	0	15,75

**Tableau 5** - Pluviométrie (P mm) et températures moyennes (T ° C) mensuelles de la station météorologique de Tamanrasset (2007-2010)

Latitude 22°8'N - longitude 5°46' E - altitude 1377 m

Mois	2007		2008		2009		2010	
	P mm	T °C	P mm	T °C	P mm	T °C	P mm	T °C
I	0	14,4	0	10,2	2,03	13,15	0	14,55
II	0	15,6	0	15	0	16,9	0	18,75
III	0	18,65	0	18,45	0,51	20,4	0	21,3
IV	0	23,2	0	23,4	0	22,55	0	26,1
V	0	26,4	0,51	27,1	0	26,1	0	28,35
VI	0	29,75	6,1	30,1	1,27	29,5	21,08	30,5
VII	0	29,45	0	29,85	5,59	29,9	17,53	29,8
VIII	0	28,8	15,25	28,8	11,93	29,05	11,68	29,55
IX	0	27,15	0,76	28,6	13,48	27,8	17,53	28,3
X	0	22,95	1,02	24,15	0	24,4	0	25,65
XI	0	17,9	0	18,25	0	17,95	2,79	20,1
XII	0	14,5	0	13,9	0	16,4	0	16,35

**Tableau 6** - Humidité relative en % et vitesse du vent, V en km/h, par station météorologique (moyennes 2007-2010)

Mois	Adrar		Béchar		Tamanrasset	
	HR %	V	HR %	V	HR %	V
I	29,95±6,21	23,02±1,95	41,25±5,56	9,23±2,83	23,1±7,63	12,3±1,68
II	25,62± 3,76	23,9±4,52	36,4±0,82	12,63±0,21	18,3±3,28	12,72±0,43
III	22,22± 4,38	25,47±1,15	28,66±5,91	12,36±1,30	14,6±1,57	15,82±1,15
IV	21,35±8,63	27,32±4,32	24,66±5,76	15,43±0,91	13,43±1,97	15,72±0,09
V	19,52± 6,44	26,57±2,19	23,5±3,25	14,86±0,23	15,1±0,20	15,9±0,57
VI	13,55±1,66	22,22±2,79	19,36±2,78	12,46±1,10	19,4±3,76	15,3±0,96
VII	10,85 ±1,32	26,22±2,24	16,9±4,42	13,2±1,4	19,4±4,57	16,37±0,42
VIII	14,75 ± 3,44	23,9±3,06	20,83±4,44	11,4±1,82	25,56±4,30	14,92±0,82
IX	23,95 ± 3,11	22,12±1,88	31,1±9,28	11,13±1,94	26,5±5,83	13,95±0,68
X	29,62 ±3,56	23,00±3,74	41,03±9,04	11,2±1,31	22,05±4,86	13,02±1,18
XI	35,8 ± 7,34	21,97±2,83	40,73±4,39	10,66±3,56	23,16±3,25	11,32±0,63
XII	38,9± 4,94	20,77±3,07	41,9±5,37	9,6±2,25	19,33±1,96	10,27±0,15



**Tableau 7** - Model de fiche de saisie synthétique des informations phéno-phasaire de *S. gregaria* (Base de données A)

<b>Data base A</b>									
Année	Mois	L.S	L.T	A.S	A.T	A.G	Latitude	Longitude	Altitude (m)

**Tableau 8** - Model de fiche de saisie synthétique des informations relatives au comportement de *S. gregaria* (Base de données B)

<b>Data base B</b>					Densité par état phasaire		Reproductions		Superficie Traitée
Année	Mois	Latitude	Longitude	Site	Larves	Ailés	Solitaires	Transiens	

**Tableau 14** - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de *S. gregaria* pour l'année 2007

Mois	L.S	L.T	L.G	A.S	A.T	A.G
I	0	0	0	0	0	0
II	1	0	0	2	0	0
III	0	0	0	1	0	0
IV	0	0	0	4	0	0
V	2	0	1	2	2	0
VI	0	1	0	4	1	0
VII	0	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	1	0	0
XI	0	0	0	0	0	0
XII	1	0	0	5	5	0
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>8</b>	<b>0</b>

L : larves ; A : ailés ; S : solitaires ; T : transiens ; G : grégaires

**Tableau 15** - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de *S. gregaria* pour l'année 2008

Mois	L.S	L.T	L.G	A.S	A.T	A.G
I	0	0	0	4	0	0
II	0	0	0	7	0	0
III	0	0	0	3	0	0
IV	1	1	0	2	0	0
V	2	1	0	3	0	0
VI	0	0	0	3	0	0
VII	0	0	0	1	0	0
VIII	1	0	0	1	0	0
IX	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0	0
XI	1	0	0	2	0	0
XII	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tableau 16** - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de *S. gregaria* pour l'année 2009

Mois	L.S	L.T	L.G	A.S	A.T	A.G
I	0	0	0	1	0	0
II	0	0	0	1	0	0
III	0	0	0	3	0	0
IV	0	0	0	4	0	0
V	2	1	0	3	0	0
VI	0	0	0	3	0	0
VII	0	0	0	5	0	0
VIII	0	0	0	1	0	0
IX	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	1	0	0
XI	0	3	0	4	0	0
XII	3	0	0	1	0	0
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tableau 17** - Occurrence mensuelle phénologique et phasaire de *S. gregaria* pour l'année 2010

Mois	L.S	L.T	L.G	A.S	A.T	A.G
I	0	0	0	1	0	0
II	0	0	0	0	0	0
III	0	0	0	2	0	0
IV	0	0	0	0	0	0
V	2	1	0	2	0	0
VI	1	1	0	2	0	0
VII	0	0	0	2	0	0
VIII	0	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	1	0	0
XI	0	1	0	1	3	0
XII	0	0	0	3	0	0
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>0</b>

**Tableau 20** - Occurrence géographique mensuelle des larves de *S. gregaria* par stade phasaire (2007-2010) - **S.O** : Sahara occidental ; **S.C** : Sahara central ; **S.M** : Sahara méridional

Mois	Solitaires			Transiens			Grégaires		
	S.O	S.C	S.M	S.O	S.C	S.M	S.O	S.C	S.M
<b>I</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>II</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>III</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>IV</b>	0	0	1	0	0	1	0	0	0
<b>V</b>	3	3	2	0	4	0	0	1	0
<b>VI</b>	0	1	0	1	1	0	0	0	0
<b>VII</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VIII</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>IX</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>X</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>XI</b>	0	1	0	0	1	2	0	0	0
<b>XII</b>	0	2	2	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

**Tableau 21** - Occurrence géographique mensuelle des ailés de *S. gregaria* par stade phasaire (2007-2010)

Secteur	Solitaires			Transiens			Grégaires		
	S.O	S.C	S.M	S.O	S.C	S.M	S.O	S.C	S.M
<b>I</b>	1	3	2	0	0	0	0	0	0
<b>II</b>	1	6	3	0	0	0	0	0	0
<b>III</b>	3	5	2	0	0	0	0	0	0
<b>IV</b>	2	6	1	0	0	0	0	0	0
<b>V</b>	2	6	3	0	2	0	0	0	0
<b>VI</b>	0	5	4	0	1	0	0	0	0
<b>VII</b>	1	3	2	0	0	0	0	0	0
<b>VIII</b>	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<b>IX</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>X</b>	0	2	2	0	0	0	0	0	0
<b>XI</b>	0	7	3	0	2	1	0	0	0
<b>XII</b>	1	7	1	0	4	1	0	0	0
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>51</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tableau 26 - Indices morphométriques des individus de *S. gregaria* capturés à Zaouiet Kounta (Adrar)**

Indices	E	F3	C	E/F	F/C
Femelle	63,4	27,4	8,2	2,31	3,34
	60,3	28,8	7,2	2,09	4
	59,2	26,9	7,8	2,2	3,45
	71,5	32	8	2,23	4
	52	27,5	6,9	1,89	3,98
	57,7	28,6	7,3	2,02	3,92
	60,2	23,7	6,8	2,54	3,48
	58,2	27	7,5	2,15	3,6
	64,5	27,9	8	2,31	3,49
	66,3	25,1	7,5	2,64	3,35
	58,9	28,7	7,3	2,05	3,93
	70,5	31	7,6	2,27	4,08
	69,2	29,5	7,4	2,34	3,99
	58,2	27,9	7	2,09	3,98
	58,6	26,8	7,8	2,19	3,43
Mâle	47,6	22,5	6,8	2,11	3,31
	61	23,2	7,2	2,63	3,22
	51,3	24,5	6,3	2,09	3,89
	55,4	27,6	6,8	2,01	4,06
	48,4	21,9	7,1	2,21	3,08
	55,8	25	6,8	2,23	3,68
	53,5	27	7	1,98	3,85
	50,5	22,7	6	2,22	3,78
	51,2	22,5	5,9	2,27	3,81
	52,6	22	6,4	2,39	3,44
	47,5	23,8	6,2	1,99	3,84
	53,8	25,5	6,5	2,11	3,92
	60	23,9	7,4	2,51	3,23
	48,5	23,6	5,6	2,05	4,21
	54,5	26,2	7	2,08	3,74

**E** : longueur de l'élytre ; **F3** : longueur du fémur postérieur **C** : largeur maximal de la tête

**Tableau 27 - Indices morphométriques des individus de *S. gregaria* capturés à Aoulef (Adrar)**

Indices	E	F3	C	E/F	F/C
<b>Femelle</b>	65,2	29,4	9,3	2,21	3,16
	66,8	29,1	7,5	2,29	3,88
	57,6	26,9	6,8	2,14	3,95
	67,2	23,6	7,8	2,06	4,17
	70,5	31,7	7,6	2,22	4,17
	62,6	24,8	8,1	2,51	3,06
	68,8	30,7	7,8	2,24	3,93
	66,5	28,7	7,6	2,32	3,78
	71	29,9	6,8	2,37	4,4
	66,3	25,1	7,5	2,64	3,35
	59,4	26,3	6,9	2,66	3,81
	57,5	27,2	7	2,11	3,88
	70,5	31	7,6	2,27	4,08
	59,4	25,3	7,8	2,35	3,24
	61,4	27,8	8,1	2,21	3,43
<b>Mâle</b>	55,4	23,8	8,8	2,33	2,7
	47,2	25,1	6,5	1,88	3,92
	53	25,5	6,8	2,07	3,75
	53,7	25,2	9,4	2,13	2,68
	55	22,8	7,5	2,18	3,04
	48,5	23	6,1	2,1	3,77
	60,5	23,8	7,4	2,54	3,21
	54,7	25,5	6,4	2,3	3,98
	53	26,5	6,8	2	3,89
	54,8	26,5	7	2,07	3,78
	55,5	25,7	6,6	2,16	3,89
	60,2	22	6,8	2,74	3,23
	53,8	25,5	6,5	2,11	3,92
	48,6	22,7	7,4	2,14	3,07
	55,4	23,9	8,8	2,32	2,71

**Tableau 38** - Evolution pondérale et consommation (g) moyenne des larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria* mises en présence des feuilles de chou traitées par L'extrait de *N. oleander*

Temps (jour)	Larves traitées		Larves témoins	
	Poids frais	Quantité Consommée	Poids frais	Quantité consommée
0	1,028 ± 0,075	-	1,157±0,150	-
1	0,985 ±0.054	0,048 ±0,031	1,185±0,174	1,455±0,351
2	0,908± 0.056	0	1,182±0,155	1.886±0,473
3	0,824± 0.065	0	1,320±0,097	2,146±0,497
4	0,743 ±0,059	0	1,377±0,126	2,300±0,455
5	0,674±0.060	0	1,452±0,127	2,473±0,533
6	0,633± 0.056	0	1,578±0,114	2,559±0,531
7	-	-	1,723±0,181	2,625±0,536
8	-	-	1,828±0,111	2,494±0,550
9	-	-	1,846±0,118	2,389±0.563
10	-	-	-	-

**Tableau 39** - Analyse de la variance appliquée aux larves L5 de *S. gregaria* traitées aux huiles essentielles de *N. oleander* , variable consommation des témoins

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Jour	34,27	8	4,28	16,95	3,0808E-20	1,97
Individu	65,93	261	0,25263141			
Total	100,2	269				

**Tableau 40** - Analyse de la variance appliquée aux larves L5 de *S. gregaria* traitées aux huiles essentielles de *N. oleander* , variable consommation larves traitées.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Jour	0,139	8	0,017	7,92	1,529E-09	1,97
Individu	0,574	261	0,0021			
Total	0,713	269				

**Tableau 41** - Cinétique de la mortalité cumulée en % et temps léthal 50, 90 et 99 en jours des larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria* traitées à l'huile essentielle de *N. oleander*

Jour	Mortalité cumulée %		TL50	TL90	TL99
	Traitées	Témoins			
1	0	0	2.77< <b>3.66</b> <4.36	6.19< <b>7.32</b> <9.48	9.83< <b>12.87</b> <21.67
2	16,7	0			
3	21,43	6,7			
4	32,15	6,7			
5	57,13	6,7			
6	82,13	6,7			
7	100	6,7			

#### Autres annexes



Oasis et culture en étage dans la région d'Adrar





Cultures maraichères sous serre à Adrar



Parcelle nue sous pivot à Adrar



Céréales sous pivot à Adrar

## Résumé :

**Processus de grégarisation de la sauterelle pèlerine *Schistocerca gregaria* (Forskäl, 1775) et recherche de foyers grégarigènes naturels au Sahara.** Trois principaux points sont abordés sur la sauterelle pèlerine, d'abord l'étude du processus de grégarisation puis la recherche de foyers grégarigènes naturels au Sahara algérien et enfin la toxicité des huiles essentielles extraites des feuilles de *N. oleander* sur les larves L5. Pour ce qui concerne le processus de grégarisation, en période de rémission, et durant les années 2007 à 2010, les populations de *S. gregaria* s'étendent dans la région d'étude entre 19° 58' et 30° 11' N. Les plus hautes fréquences des solitaires et des transiens sont enregistrées dans l'Oued Saoura, au centre dans la région d'Adrar et au nord-ouest de Tamanrasset. *S. gregaria* y développent toutes les formes phasaires mais avec des différences dans la composition. En effet le stade phasaire dominant demeure celui des individus solitaires, il occupe 82,4 % des relevés. Les résultats obtenus, dans cette étude, confirment que la région d'étude constitue une zone de transformation phasaire de *S. gregaria*. En période de rémission la transformation phasaire se produit en deux périodes de l'année l'une d'avril à juin et l'autre en novembre-décembre. L'étude morphométrique a montré que les transiens dégégans sont les mieux représentés. Au Sahara central la pérennité des surfaces irriguées fait durer la transformation phasaire sur les quatre années d'étude. Alors qu'au Sahara méridional et dépendamment de la pluviométrie, le processus ne s'est produit que durant deux années consécutives, 2007 et 2008, dans les sites naturels. L'examen de l'action de la pluviométrie et de la température moyenne sur l'occurrence mensuelle *S. gregaria* montre, en général, que la pluviométrie n'a pas d'effet sur la présence des populations acridiennes, bien qu'elle explique le mieux l'apparition de la végétation. Par contre, la température moyenne présente un effet hautement significatif. L'exploitation de l'outil télédétection spatiale à haute résolution dans l'identification des foyers de grégarisation naturels potentiels au Sahara a permis de qualifier et de quantifier les états de surface du sol sur une aire couvrant 21.450,72 km<sup>2</sup>. La carte d'occupation du sol a permis d'identifier quatre principaux thèmes celui de la végétation, de l'ensablement, des ergs et des regs. La végétation naturelle occupe 42.312,27 Ha concentrée dans le Sahara central. Enfin l'étude de la toxicité par ingestion des huiles essentielles de *N. oleander* a montré que *N. oleander* exerce un effet répulsif et biocide sur les larves L<sub>5</sub> de *S. gregaria*. Un TL50 de 3.66 jours est obtenu. Ces différents résultats obtenus ouvrent la voie à des recherches plus approfondies.

**Mots clés :** Sahara, *Schistocerca gregaria*, *Nerium oleander*, grégarisation, occurrence, télédétection  
**Abstract**

**Gregarisation Process of *Schistocerca gregaria* ( Forskål , 1775) and looking for natural gregarization homes in the Sahara.** Three main points are discussed on the Desert locust, first studying gregarisation process and looking for natural gregarisation homes in the Algerian Sahara and finally the toxicity of essential oils extracted from leaves of *N. oleander* on L5 larvae. Regarding the gregarisation process, in remission, and during the years 2007 to 2010, populations of *S. gregaria* range in the study area between 19 ° 58 ' and 30 ° 11' N. higher frequencies solitary and transiens are recorded in the Wadi Saura , center in the Adrar region and northwest of Tamanrasset. *S. gregaria* to develop all forms but with differences in the composition. Indeed the stage remains the dominant phasal solitary individuals, it occupies 82.4% of readings. The results obtained in this study confirm that the study area is a phase transformation zone of *S. gregaria* . In remission phase transformation occurs in two periods of the year one from April to June and one in November-December. The morphometric study showed that dégregans transiens are best represented. The central Sahara sustainability of irrigated areas prolongs phase transformation over the four years of study. While in the southern Sahara and depending on rainfall , the process that occurred in two consecutive years , 2007 and 2008 , in natural sites. The review of the action of rainfall and the average temperature on the monthly occurrence *S. gregaria* shows in general that rainfall has no effect on the presence of locust populations , although it says the better the appearance of vegetation. Against by the average temperature shows a highly significant effect. The operation of the tool high-resolution remote sensing in identifying potential natural gregarization homes Sahara allowed to qualify and quantify the soil surface states on an area covering 21,450.72 km<sup>2</sup>. The land cover map has identified four key themes that of vegetation, siltation , ergs and regs . The natural vegetation occupies 42,312.27 Ha concentrated in the central Sahara. Finally, the study of toxicity by ingestion of essential oils of *N. oleander* has shown that *N. oleander* has a repellent and biocidal effect on L5 larvae of *S. gregaria* . A TL50 3.66 days was obtained. These results open the way to further research.

**Keywords:** Sahara, *Schistocerca gregaria*, *Nerium oleander*, Gregarisation, occurrence, Remote Sensing.

## ملخص

مراحل تطور الجراد الصحراوي (*Schistocerca gregaria* (Forskäl, 1775) والبحث عن أوساط الطبيعية للتحول في الصحراء. تمت دراسة ثلاث محاور أساسية خاصة بالجراد المهاجر في هذه المذكرة ، بحيث تتناول الأولى مراحل التحول ، ثم البحث عن الأوساط الطبيعية التي تعيش فيها تحديدا منطقة الصحراء الجزائرية ، وأخيرا دراسة سمية الزيتون الأساسية المستخلصة من *N. oleander* أوراق النبات المسمى (الدقلى) ، وتأثيرها على الطور اليرقي الخامس . في ما يخص النقطة الأولى ، وخلال الفترة الممتدة بين 2007 و2010 ينتشر الجراد في المنطقة موضوع الدراسة ما بين  $19^{\circ} 58' - 30^{\circ} 11'$  شمالا حيث سجلت أعلى نسبة لتواجد الجراد المنفرد والمتحول جزئيا في منطقة الساورة ، في وسط مدينة أدرار ، كذا شمال غرب تمنراست ، حيث ينمو هذا الجراد بجميع أشكاله ، إلا أن المرحلة السائدة تبقى مرحلة الأنواع المنعزلة بنسبة %82.41 من العينات .

النتائج المحصل عليها تؤكد أن منطقة الصحراء هي منطقة تحول الطوري لهذا الجراد ، هذا الأخير يحدث خلال فترتين في السنة ، الأولى ما بين شهري أبريل وجوان ، والثانية بين شهري نوفمبر و ديسمبر .

بينت القياسات المرفولوجية أن *transien degregans* هي الأكثر تمثيلا ، في حين أن تواجد المساحات المسقية بصفة دائمة في الصحراء الوسطى تطيل فترة التحول التطوري . أما في منطقة الصحراء الجنوبية ، فالتحول مرتبط بكميات الامطار المتساقطة ، وبذلك يظهر مدى تأثير الامطار ودرجة الحرارة المتوسطة للجراد بحيث تم التوصل بصفة عامة ، بأنه لا تأثير للأمطار على تواجد الجراد . على العكس من ذلك تؤثر درجة الحرارة بصفة ملموسة عليه .

إن استغلال نظام الاستشعار عن بعد في تحديد أوساط التحول الطبيعي المحتملة في الصحراء قد ساعد على التشخيص النوعي والكمي لمساحة تقدر ب 21450.72 كم<sup>2</sup> ، حيث حددت خريطة استغلال الاراضي أربع عناصر هي على التوالي : الغطاء النباتي ، الرمل ، العرق ، الرق ، بحيث يحتل الغطاء النباتي الطبيعي مساحة 42312.27 هكتار هي مركزة في الصحراء الوسطى.

وأخيرا إن سمية الزيتون المستخلصة عن طريق الهضم أظهرت تأثير نافر وقاتل ليرقات الطور الخامس TL50 والذي يساوي 3.66 يوم . إن النتائج المحصل عليها تفتح المجال لبحوث أخرى معمقة .

كلمات مفتاحية: الصحراء ، *Schistocerca gregaria* ، *Nerium oleander* ، التحول ، التواجد ، الاستشعار عن بعد