

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ECOLOGIE VEGETALE

N°...../SNV/2018

THÈSE

Présentée par

MIHI Ali

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : BIOLOGIE

Spécialité : ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

THÈME

**Etude écologique et cartographique de l'écosystème oasien par
l'outil SIG et Télédétection : cas de l'oasis de Biskra, Algérie sud.**

Soutenue publiquement le 25/06/2018

DEVANT LE JURY

Président	Gharzouli Rachid	Pr.UFA Sétif 1
Directeur	Tarai Nacer	Pr.UMKH Biskra
Examineurs	Boulaacheb Nacira	Pr. UFA Sétif 1
	Allatou Djamel	Pr. UFM Constantine 1
	Terras Mohamed	MCA. UMT Saida
	Rebbas Khellaf	MCA. UMB M'Sila

Laboratoire de Diversité des Ecosystèmes et Dynamiques de Système de Production en
Zone Aride.

Remerciements

Au terme de cette étude, je remercie avant tout Dieu le Tout Puissant, de m'avoir donné la foi et le courage et de m'avoir guidé pour l'accomplissement de ce travail.

J'ai l'honneur de remercier tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, je cite en premier lieu, mon encadreur le **Pr. Tarai Nacer**, Professeur à l'université de Biskra, qui a suivi ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect pour ses précieux conseils, son aide et sa disponibilité. Je remercie vivement **Pr. Gharzouli Rachid** Professeur à l'université de Sétif 1, pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse ; ses conseils, sa disponibilité, ses encouragements. Mes sincères remerciements vont à **Pr. Boulaacheb Nacira** Maitre de conférences-A à l'université de Sétif 1, pour avoir bien voulu juger ce travail ; ses remarques et conseils me seront profitables. J'adresse mes profonds remerciements à **Pr. Allatou Djamel** Professeur à l'université de Mohamed Mentouri Constantine 1, pour avoir accepté de faire partie du jury, ses critiques et suggestions me seront utiles. Je remercie Monsieur le **Dr. Terras Mohamed**, Maitre de conférence- A à l'université de Moulay Tahar Saida d'avoir accepté d'être membre de jury. **Dr. Rebbas Khellaf** Maitre de conférence à l'université de Mohamed Boudiaf M'Sila pour avoir accepté de juger ce travail. A cette occasion, mon témoignage de reconnaissance va à :

M. Mostephaoui Tewfik Chargé de recherche au CRSTRA (BISKRA) pour les données et les informations qu'ils ont pu me fournir. Aussi pour les personnels de Bibliothèque de CRSTRA.

M. Kamel Safsaf (chargé d'archive au niveau de la Direction de planification et d'Aménagement du Territoire (DPAT), aussi que M. Ziani Abdelhalim (chargé d'archive au niveau Direction des services Agricoles (DSF), pour tous les facilitations fournis, et pour les données et les informations qu'ils ont pu me fournir. M.Ghmez fateh, Maitre-assistant- B, université de Biskra pour leur aide et leur encouragement M. Arar Abdelkrim, Doctorant au niveau de l'université de M'sila qui m'a apporté un grand appui dans le traitement cartographique des données. Les Biostatisticiens du programme et plus spécialement ; Mr. Chenchouni Haroun (Maitre de conférences à l'université de Tébessa), qui m'a apporté des appuis en traitement statistiques des données. Un grand merci à mes collègues et amis du l'université de Tébessa pour ses conseils et ses encouragements ; Menasria Taha, Beleakahal, amar, Dr.Djaleb Sihem, Soltani Nedjmaddine, Zouaoui Nacim, Dr.Hanchi mohamed Saleh, Dr.Boukoucha Mourad, Bouazdia Karim, Guesmi Salim.

A tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, qu'ils trouvent ici ma haute considération.

ملخص

شهدت الزراعة الصحراوية في جنوب شرق الجزائر توسع زراعي في النظم الإيكولوجية الزراعية، من خلال تبني التقنيات الجديدة وفي وضع برامج تطوير قطاع الزراعة، وتشمل هذه الدراسة تقييم بيئي وكمي للتصحّر في نظام بيئي صحراوي (جنوب شرق الجزائر) باستخدام نموذج MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use)، من ثم لاختبار تأثير مزارع النخيل على ظاهرة التصحر، ثم استكشاف المواقع المناسبة لزراعة النخيل في منطقة الزيبان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وأخيرا استكشاف التنوع البيولوجي النباتي في الواحة واستجابتها للعوامل البيئية (الأنواع البيولوجية، الأنواع المرفلوجية، الأنواع البيوجغرافية، أنماط الانتثار، استراتيجية Grime و استراتيجية Noy-Meir)، كشفت النتائج (أ) أولا ثلاثة أرباع منطقة الدراسة الواقعة في الجزء الأوسط (السهول والمنخفضات) تعتبر منطقة حساسة جدا تجاه التصحر، (ب) ثانيا قدرة مزارع النخيل في السيطرة والتخفيف من حدة التصحر في الأراضي الجافة الساخنة، و الناتجة من فعالية برامج استراتيجية للسياسة الزراعية، (ت) ثالثا منطقة الزيبان لديها امكانات مهمة في مجال زراعة النخيل، (ث) رابعا، التنوع البيولوجي للأنواع النباتية مهم جدا على مستوى النظام البيئي الواحاتي، وتكيفها بشكل جيد للظروف البيئية، بشكل أساسي التصحر. قدرة تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية للرصد والكشف السريع عن تغير الأراضي على مستوى المناطق الصحراوية بما في ذلك الواحات، على المدى الطويل، وعلى مساحة جغرافية واسعة مع دقة عالية وتكلفة منخفضة نسبيا. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الأنواع الواحاتية تتكيف بشكل جيد مع العوامل البيئية الصحراوية، والعوامل البشرية.

كلمات مفتاحية: MEDALUS، التصحر، الزيبان، الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية مزارع النخيل، التنوع البيولوجي النباتي.

Abstract

Large Saharan agriculture in southeastern of Algeria have been witnessed into highly agro-ecosystems farming expansion, by adopting new technologies and Agriculture programs to develop the sector. This study involves an environmental and quantitative assessment of desertification in a desert oasis system (Southeast of Algeria) using MEDALUS model (Mediterranean Desertification and Land Use), and then to test the date palm plantations effect on desertification phenomenon, after to develop a suitability map for date palm farming for the Ziban region using GIS and Remote sensing tools, and finally exploring oasis floristic biodiversity and their response to environmental factors (Standard biological, standard morphological, standard biogeography, types of dissemination, strategies of Grime, and strategies of Noy-Meir).The results revealed, (i) first three quarters of the study area located in the central part (Plains and Depressions) is classified as a very sensitive area against Desertification,(ii) secondly the potential of DPP in controlling and mitigating desertification in hot drylands, which arising from the effectiveness of strategic agricultural policy programs. (iii) Thirdly, the Ziban region has important potential in the date palm farming, (iv) Fourthly, Biodiversity of plant species is important at the oasis ecosystem and well adapted to the environmental conditions, mainly desertification. The ability of remote sensing image processing and GIS technique is proven relevant for monitoring and rapid detection of long-term land change in large-area desert landscapes including oases with high accuracy and relatively low cost. In addition, oasis species are well adapted to Saharan environmental factors, and anthropogenic factors.

Key Words : MEDALUS, Desertification, Ziban, GIS and Remote sensing, date palm farming, floristic biodiversity.

Résumé

Le secteur agricole a été témoin d'une grande expansion des agroécosystèmes Sahariens dans le sud-est de l'Algérie, en adoptant de nouvelles technologies et de programmes agricoles pour développer le secteur. La présente étude consiste à une évaluation environnementale et quantitative de la désertification d'un système oasien de désert (Algérie Sud) en adoptant le modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), puis de tester l'effet des plantations de palmier dattier (PPD) sur le phénomène de la désertification, ensuite la prospection des sites favorables de la Phoeniculture dans la région du Ziban à partir de l'outil SIG et Télédétection, et enfin explorer la Biodiversité floristique oasienne et leur réponse vis-à-vis aux facteurs environnementaux (type morphologiques, Biologiques, Biogéographiques, Dissémination, Stratégies adaptatives de Grime, Stratégie de Noy-Meir). Les résultats ont révélé, (i) premièrement le trois quart de la zone d'étude qui se situe dans la partie centrale (Plaines et dépressions) est classifiée comme zone très sensible à la Désertification, (ii) deuxièmement, le potentiel de plantation de palmier dattier pour contrôler et atténuer la désertification dans les zones arides chaudes issue de l'efficacité des programmes stratégiques de politique agricole, (iii) troisièmement, la région du Ziban dispose d'énormes potentialités en matière de Phoeniculture, (iv) quatrièmement, la Biodiversité des espèces végétales est importante au niveau de l'écosystème oasien et bien adaptée aux conditions environnementales, principalement la désertification. Le présent document rapporte, le potentiel et l'opportunité de Système d'Information géographique (SIG), et Télédétection comme des outils efficaces pour cartographier, évaluer les changements ou les dégradations environnementales à long terme et avec un coût relativement faible dans les régions sahariennes. De plus, les espèces oasiennes sont bien adaptées aux facteurs environnementaux sahariens, et facteurs anthropiques.

Mots clés : MEDALUS, Désertification, Ziban, SIG et Télédétection, , plantations de palmier dattier, Biodiversité floristique.



Sommaire

pdfelement

Sommaire.....	i
Annexes.....	vii
Liste des Figures.....	viii
Liste des Tableaux.....	xi
Introduction.....	1
Chapitre I L'Écosystème Oasien.....	5
1.1. Les agrosystèmes	6
1.2. L'oasis	6
1.3. Les caractéristiques générales du milieu oasien	6
1.4. Les différents types d'oasis	7
1.4.1. Dans le monde	7
1.4.2. En Afrique	8
1.4.3. Dans le pourtour méditerranéen	9
1.5. Les fonctions de l'oasis	10
1.5.1. La production.....	10
1.5.2. La résidence.....	10
1.5.3. Le passage	10
1.5.4. Le point de départ des conquêtes.....	10
1.6. La bioclimatologie des oasis.....	10
1.6.1. L'effet de l'oasis.....	11
1.6.2. L'effet brise-vent de l'oasis.....	11
1.7. Une nouvelle répartition de l'énergie rayonnante	11
1.8. L'utilisation des eaux dans les oasis	12
1.9. Le système oasien en Algérie	12
1.9.1. Le climat.....	12
1.9.2. Le sol	13
1.9.3. L'eau.....	13
1.9.4. Les productions agricoles	14
1.9.4.1. Productions végétales	15
1.9.4.2. Les productions animales dans les oasis.....	15
1.9.5. Les facteurs de dégradations des oasis algériennes	17
1.9.5.1. La salinisation.....	17
1.9.5.2. Les eaux usées	17
1.9.5.3. Autres problèmes	18
1.10. Politique agricole en Algérie	19
1.10.1. La mise en valeur dans le cadre de la loi portant accession à la propriété foncière	21

Agricole (APFA)	21
1.10.2. Le Plan national de développement agricole (PNDA)	22
1.11. La Durabilité de la modernisation agricole	23
1.11.1. Notion de développement durable	23
1.11.2. Agriculture durable et Développement agricole	23
1.12. Le palmier dattier	24
1.13. La morphologie du palmier dattier	25
1.14. Exigences du palmier dattier	26
1.14.1. Exigence climatiques	26
1.14.2. L'eau d'irrigation	27
1.14.3. Le sol	27
1.15. La phoeniciculture	27
1.16. Le marché de datte	29
1.17. Les contraintes majeures du palmier dattier	30
1.17.1. Les maladies	30
1.17.2. L'érosion génétique	31
1.18. La phytocénose oasisienne et l'ambiance climatique favorable à une production globale	31
Chapitre II Système d'Information Géographique.....	32
2.1. Le système d'information géographique	34
2.1.1. La définition	34
2.2.2. Les données géographiques	34
2.2.2.1. Les coordonnées terrestres	34
2.2.2.2. Le système des coordonnées	36
2.2.3. La projection de la carte	36
2.2.3.1. Le classement des systèmes d'après la surface de projection	36
2.2.3.2. Les types de projections en Algérie	37
2.2.4. L'échelle	38
2.2.4.1. L'échelle numérique	38
2.2.4.2. L'échelle graphique	38
2.2.5. Les modèles de stockage de données	38
2.2.5.1. Les données raster	39
2.2.5.2. La donnée vecteur	41
2.2.6. La notion de couche	42
2.2.7. Les cartes thématiques	42
2.2.7.1. Le Modèle Numérique d'Altitude (MNA)	42
2.2.7.2. La carte géologique	43

2.2.7.3. La carte pédologique	43
2.2.7.4. La carte du réseau hydrographique.....	44
2.2.8. La métadonnée.....	44
2.2.9. La base de données.....	44
2.2.10. Le système de gestion des bases de données (SGBD).....	44
2.2.11. Les modèles des données.....	44
2.2.11.1. Le modèle relationnel	44
2.2.12. Le langage SQL (Structured Query Language)	45
2.2.13. Les composantes d'un SIG	45
2.2.14. L'analyse spatiale	45
2.2.14.1. La manipulation des données spatiales.....	46
2.2.15. Une approche de trois points pour les responsables d'application de SIG	47
2.2.16. Les rôles de SIG	47
2.2.17. Les domaines d'application de SIG	47
2.3. La Télédétection	48
2.3.1. La définition	48
2.3.2. Les grandes familles de satellites	49
2.3.2.1. Les satellites géostationnaires.....	49
2.3.2.2. Les satellites à défilement.....	50
2.3.3. Les capteurs	50
2.3.4. La détection passive et active	51
2.3.4.1. La détection passive.....	51
2.3.4.2. La détection active.....	51
2.3.5. Le rayonnement électromagnétique.....	51
2.3.6. Les ondes électromagnétiques	52
2.3.7. Le rayonnement et l'énergie	53
2.3.8. Le spectre électromagnétique	53
2.3.9. Les interactions du Rayonnement Electromagnétique (REM) avec la matière	54
2.3.10. Les signatures spectrales	55
2.3.11. La notion d'image en Télédétection	56
2.3.12. L'évolution des satellites de Landsat.....	56
2.3.13. Les applications de l'imagerie satellitaire	59
2.3.14. Le choix des bandes.....	59
2.3.15. La composition fausse couleur	60
2.3.16. La classification d'image.....	60
2.3.17. Les interactions d'énergie dans les plantes.....	61

2.3.18. Les indices de végétation.....	62
2.3.19. Le Geographic Position System (GPS)	63
2.3.20. Les domaines d'application de la Télédétection.....	63
2.3.21. Les travaux de Télédétection concernant l'Algérie.....	64
2.3.22. La Télédétection et la désertification.....	65
2.3.23. Le SIG et la télédétection	66
Chapitre III Etude de Milieu.....	67
3.1. Le cadre géographique et administratif.....	68
3.2. La géologie.....	69
3.3. Les spécificités de la classification des sols d'oasis.....	69
3.4. Les ressources en eaux dans la wilaya de Biskra	70
3.4.1. Les ressources en eaux superficielles	70
3.4.2. Les ressources souterraines	70
3.5. La végétation dans la région de Biskra	70
3.5.1. Les steppes graminéennes	71
3.5.2. Les steppes arbrissaux ou chamaephytiques.....	71
3.5.3. Les steppes crassulescentes.....	71
3.5.4. Les pseudo steppes arbustives à nanophanérophytes	71
3.6. La dynamique de la production agricole dans la région de Biskra.....	72
3.7. Le climat.....	73
3.7.1. Les précipitations.....	73
3.7.1.1. Les précipitation mensuelles	74
3.7.1.2. Les précipitations annuelles.....	74
3.7.2. Les températures.....	75
3.7.3. Le vent.....	75
3.7.4. L'humidité.....	76
3.8. La bioclimatologie.....	76
3.8.1. Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	76
3.8.2. Le climagramme pluviothermique d'Emberger	77
3.8.3. Indice d'Aridité De Martonne	78
Chapitre VI Matériels et Méthodes.....	79
4.1. Matériels et Méthodes	80
4.2. Les logiciels de cartographie utilisés.....	80
4.2.1. Le Map Info Professional	80
4.2.2. La Verticale Mapper 3.0.....	80

4.2.3. ENVI (<i>Environment for Visualizing Images</i>)	80
4.2.4. Le Globale Mapper	81
4.3. La désertification dans la région du Biskra en utilisant le modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use).....	81
4.3.1. La méthodologie adoptée.....	81
4.3.1.1. L'indice de la qualité du climat (IQC).....	82
4.3.1.2. L'indice de la qualité de sol (IQS).....	83
4.3.1.3. L'indice de la qualité de la végétation (IQV)	84
4.3.1.4. L'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA)	85
4.3.1.5. L'indice de sensibilité à la désertification (ISD)	86
4.4. Rôle des plantations des palmiers dattiers et L'Oasification dans la lutte contre la Désertification et l'invasion du sable dans les zones arides.....	87
4.4.1. L'acquisition des données	87
4.4.2.1. La correction géométrique.....	88
4.4.2.2. La correction radiométrique	88
4.4.3. L'analyse d'image	90
4.4.4. Analyse statistique.....	91
4.5. La modélisation des sites propices à la phoeniciculture dans la région de Biskra par l'outil SIG (Système d'Information Géographique).....	91
4.5.1. La couche d'occupation du sol.....	91
4.5.2. La couche de la qualité du sol	93
4.5.3. La carte du Salinité.....	94
4.5.4. L'évaluation de l'adéquation de terre pour la phoeniciculture.....	94
4.6. Les traits fonctionnels des espèces végétales dans l'écosystème oasien dans la région de Biskra (Algérie-Sud).....	95
4.6.1. Choix des stations.....	95
4.6.2. Le coefficient d'abondance dominance de Braun Blanquet.....	96
4.6.3. La sociabilité	96
4.6.4. L'aire minimale	96
4.6.5. Le relevé floristique.....	97
4.6.6. Le taux de Recouvrement	97
4.6.7. L'abondance relative (RA%).....	97
4.6.8. La fréquence d'occurrence	98
4.6.9. L'indice de diversité de Shannon	98
4.6.10. L'indice d'équitépartition ou d'équitabilité.....	98
4.6.11. Les types fonctionnels	99

4.6.11.1. Trait fonctionnel	99
4.6.11.2. Les types fonctionnels de plantes	99
4.6.12. Le traitement des données par L'analyse factorielle des correspondances (A.F.C.)	101
Chapitre V Résultats et Discussion.....	102
5.1. Désertification dans la région du Biskra en utilisant le modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use).....	103
5.1.1. L'indice de qualité du sol (IQS)	103
5.1.2. L'indice de qualité du climat (IQC)	104
5.1.3. L'indice de la qualité de la végétation (IQV)	104
5.1.4. L'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA).....	105
5.2. Rôle des plantations des palmiers dattiers et L'Oasification dans la lutte contre la Désertification et l'invasion du sable dans les zones arides.....	109
5.2.1. Changement de plantation de palmiers dattiers (PPD) au cours des trois dernières décennies.....	109
5.2.2. Les indicateurs de la désertification basés sur les plantations de palmiers dattiers.....	111
5.2.2.1. Les effets du DPP sur le NDVI	111
5.2.2.2. Influences du NDVI et du PPD sur le CI.....	112
5.2.2.3. L'influence du NDVI et du DPP sur NDMI.....	114
5.2.2.4. Les effets du NDVI, PPD, et NDMI sur le SI-T.....	115
5.2.2.5. Les plantations de palmier dattier comme ceinture refuge contre la désertification	118
5.3. La modélisation des sites propices à la phoeniciculture dans la région de Biskra par le SIG	119
5.3.1. La carte d'occupation du sol.....	119
5.3.2. La carte pédologique	121
5.3.3. La carte de la salinité	122
5.3.4. La carte des zones propices pour la phoeniciculture	123
5.4. Traits fonctionnels des espèces végétales dans l'écosystème oasien dans la région de Biskra (Algérie Sud)	124
5.4.1. Composition floristique	124
5.4.2. Les Richesse, Indice de diversité et d'équitabilité.....	129
5.4.3. Les résultats obtenus par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) espèce-relevé... ..	131
5.4.4. Les traits fonctionnels.....	132
5.4.4.1. Les types morphologiques	132
5.4.4.2. Les types biologiques	133
5.4.4.3. Les types de dissémination	134
5.4.4.4. Les stratégies adaptatives de Grime	135
5.4.4.5. Les stratégies de Noy-Meir.....	136
5.4.4.6. Les types biogéographiques.....	137

Conclusion.....138
Références.....140

Annexes

Annexe 1. Moyennes mensuelles des données climatiques de Biskra (1984-2013).

Annexe 2. Fiche des relevés floristiques.

Annexe 3. Coordonnées géographiques et types de parcours des différentes stations étudiées.

Annexe 4. Photos de quelques espèces inventoriées.

Annexe 5. Cartes et images satellitaires utilisées.



Liste des Figures

Figure 1. Zones arides et systèmes d'oasis, A. niveau d'aridité, B. Localisation des oasis.	7
Figure 2. Les types principaux d'oasis dans le Monde	8
Figure 3. Coupe schématique Nord-Sud des nappes profondes (C-T et C-I) de la cuvette d'Ouargla.	13
Figure 4. Les eaux souterraines du Sahara algérien.....	14
Figure 5. Elevage intensif : maillon important du système de production oasien.	16
Figure 6. Dynamiques des eaux et des sels dans les oasis.....	17
Figure 7. La foggara	18
Figure 8. Évolution du comportement de la nappe phréatique.	19
Figure 9. Schéma d'aménagement agricole en Algérie.	20
Figure 10. Mise en valeur des oasis sahariennes Algériennes.....	21
Figure 11. Modèle coévolutif entre la modernisation et la durabilité agricole.	24
Figure 12. Représentation Schématique du Palmier dattier.....	26
Figure 13. Les principales oasis algériennes.	28
Figure 14. Conception de SIG	34
Figure 15. Le géoïde est la forme théorique de la terre.	35
Figure 16. L'ellipsoïde.	35
Figure 17. Les types de projection.....	37
Figure 18. Types de données spatiales.	39
Figure 19. Carte d'altitude.....	40
Figure 20. Photo aérienne et carte scannée.....	40
Figure 21. Donnée où l'espace est divisé de manière régulière.....	40
Figure 22. Les types de données vecteur.....	41
Figure 23. Notion de couche en SIG.	42
Figure 24. Processus d'acquisition d'images.....	49
Figure 25. satellite géostationnaire.....	50
Figure 26. Satellite à défilement (Orbite polaire).....	50
Figure 27. Détection passive et active.	52
Figure 28. L'onde électromagnétique simple (monochromatique, plane).....	52
Figure 29. Les principales divisions du spectre électromagnétique.	54
Figure 30. Interaction du Rayonnement Electromagnétique (REM) avec la matière.....	55
Figure 31. Signature spectrale de l'eau, de la végétation et du sol	55
Figure 32. L'image en télédétection	56
Figure 33. Landsat1: satellite.....	57
Figure 34. Classification d'image.....	61
Figure 35. Coupe transversale d'une feuille.	61

Figure 36. La zone d'étude.....	68
Figure 37. Carte schématique des Ziban.....	73
Figure 38. Variations interannuelles des précipitations annuelles (1984-2013).....	74
Figure 39. Températures moyennes, maximales et minimales de Biskra (1984-2013).....	75
Figure 40. Diagramme Oombrothermique de Biskra 1984-2013.....	76
Figure 41. Climagramme d'Emberger de Biskra de 1984-2013.....	77
Figure 42. Les démarches suivies pour évaluer et cartographier l'ISD (Indice de sensibilité à la désertification).....	82
Figure 43. Zone d'étude, scène Landsat 8 OLI pour l'année 2013 (Composition fausse couleur RGB, Bandes 7-5-2).	88
Figure 44. Méthode de déterminer l'Aire minimale.....	97
Figure 45. Triangle CSR de Grime décrivant les différentes stratégies possibles résultant de compromis entre stratégie de compétition, de tolérance au stress, et de tolérance aux perturbations.....	100
Figure 46. Carte de l'indice de qualité du sol (IQS).	103
Figure 47. Carte de l'indice de qualité du climat (IQC).	104
Figure 48. Carte de l'indice de la qualité de la végétation (IQV).	105
Figure 49. Carte d'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA).	106
Figure 50. Superficies en pourcentage pour chaque indice de qualité (IQS, IQC, IQV et IQSE).	107
Figure 51. Superficies en pourcentage pour chaque classe de l'ISD.....	107
Figure 52. Carte finale de sensibilité environnementale à la désertification (ISD).	108
Figure 53. Changement spatiotemporel de terre dans la région de Ziban (NE Algérie) de 1984 à 2013. Les changements sont liés à la plantation de palmiers dattiers (a-c), NDVI (d-f), NDMI (g-i), SI-T -l) et CI (m-o) pour les années 1984, 1999 et 2013 respectivement.	110
Figure 54. Variation des valeurs de NDVI dans la région de Ziban (désert du Sahara algérien) pendant la période 1984-2013 suite à la présence / absence de PPD. Les cercles pleins indiquent les moyennes.	111
Figure 55. Relation entre CI et NDVI par présence / absence de PPD (à gauche) et changement de l'indice CI entre 1984, 1999 et 2013 (à droite). Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM). Les cercles pleins dans les boxplots indiquent les moyennes de CI.	113
Figure 56. Relation entre NDMI et NDVI par présence / absence de PPD (à gauche), et changement de l'indice NDMI entre 1984, 1999 et 2013 (à droite). Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM). Les cercles pleins dans les boxplots indiquent les moyennes de NDMI.	115
Figure 57. Relation entre SI-T et NDVI par présence / absence de PPD (à gauche), et changement de l'indice SI-T entre 1984, 1999 et 2013 (à droite). Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM). Les cercles pleins dans les boxplots indiquent les moyennes de SI-T.	117

Figure 58. Relation entre SI-T et NDMI par présence / absence de PPD. Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM).	118
Figure 59. Carte d'occupation du sol.....	119
Figure 60. Carte pédologique.	121
Figure 61. Carte de la salinité.	122
Figure 62. Carte des zones propices pour la phoeniciculture.	124
Figure 63. Variation du Taux de recouvrement dans les 12 stations.	129
Figure 64. Carte factorielle des espèces selon les axes 1 et 2, analyse par présence-absence.....	131
Figure 65. Spectre morphologique de la zone d'étude.	132
Figure 66. Spectre biologique dans la zone d'étude.	134
Figure 67. Types de dissémination dans la zone d'étude.	135
Figure 68. Stratégies adaptatives de Grime de la zone d'étude.....	136
Figure 69. Stratégies de Noy-Meir.	137
Figure 70. Spectre biogéographique dans la zone d'étude	138



Liste des Tableaux

Tableau 1. Inventaire variétal (cultivar) dans les trois régions phoenicicoles d'Algérie	29
Tableau 2. Sensibilité des cultivars à la fusariose	31
Tableau 3. Les principaux systèmes de culture	32
Tableau 4. Comparaison entre les structures vectorielles et matricielles des données spatiales	39
Tableau 5. Les catégories de fonctions de manipulation des données et échantillons de méthodes	46
Tableau 6. Landsat Multispectral Scanner (MSS).....	57
Tableau 7. Landsat Thematic Mapper (TM)	58
Tableau 8. Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	58
Tableau 9. Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) et Thermal Infrared Sensor (TIRS).....	59
Tableau 11. Les principaux indices de végétation les plus couramment utilisés PIR : Proche infrarouge ;R : rouge ; V :vert ; B :bleu	62
Tableau 12. Projets initiés par des opérateurs économiques nationaux.....	64
Tableau 13. Projets de recherche-formation ou de préfaisabilité	64
Tableau 14. Travaux réalisés par des équipes extra-maghrébines.....	65
Tableau 15. Exemples des données satellitales disponibles pour les études à long terme	66
Tableau 16. Moyenne mensuelle des précipitations de Biskra 1984-2013	74
Tableau 17. Températures mensuelles moyennes, maximales et minimales de Biskra (1984-2013) ..	75
Tableau 18. Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de Biskra de 1984-2013	76
Tableau 19. Moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra de 1984-2013	76
Tableau 20. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité du climat	82
Tableau 21. Classes de l'indice de qualité du climat.....	83
Tableau 22. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité de sol	83
Tableau 23. Classes de l'indice de qualité du sol	84
Tableau 24. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité de végétation	85
Tableau 25. Classes de l'indice de qualité de végétation	85
Tableau 26. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité du système d'aménagement	86
Tableau 27. Classes de l'indice de qualité du système d'aménagement	86
Tableau 28. Classes de l'indice de sensibilité à la désertification	87
Tableau 29. Les indices spectraux dérivés de la réflectance des données.....	91
Tableau 30. Matrice de corrélation des bandes spectrales.....	92
Tableau 31. Classes et indices de l'occupation du sol.....	93
Tableau 32. Classes et indices de la qualité de sol	94
Tableau 33. Classes et indices de la salinité.....	94
Tableau 34. Indice croix-table de Occupation du sol- qualité du sol.....	95

Tableau 35. Règles qualitatives de décision de multi-critères pour identifier l’aptitude de terre à la phoeniciculture.	95
Tableau 36. Résumé du changement du palmier dattier pour 1984, 1999 et 2013.....	110
Tableau 37. GLMM relatif aux effets des années, présence / absence de PPD, et leur interaction 'année' DPP 'sur le changement du NDVI.....	112
Tableau 38. Résultats de la GLMM relatifs aux effets des variables 'Years', 'DPP' et 'NDVI' sur CI	113
Tableau 39. GLMM relatif au changement de l'NDMI sous l’effet des années, présence/absence du PPD, NDVI, et l’interaction ` PPD*NDVI'	115
Tableau 40. Modelage des effets des années, présence/absence de PPD, et NDVI sur le changement de l’indice SI-T.....	117
Tableau 41. GLMM relatif aux effets de présence/absence de PPD, et l'NDMI sur le changement de l’indice SI-T.....	117
Tableau 42. Statistiques des classes de végétation.....	120
Tableau 43. Matrice de Confusion de la classification supervisée de la région d’étude	120
Tableau 44. Statistique des classes d’aptitude de la terre à la phoeniciculture	123
Tableau 45. La liste systématique des espèces végétales inventoriées de la région d’étude avec la fréquence, l’indice et la classe d’occurrence (I= espèce très rare, II=espèce rare, III=espèce fréquente, IV=espèce abondante, V=espèce très abondante)	126
Tableau 46. Richesse spécifique, diversité maximale et indices de Shannon et d’équitabilité de la région d’étude (P= Palmeraie, J=Jachère, F=Friche, V=voisinage de routes, D= Décombe, S=Serre).	130

Introduction

Les oasis constituent des écosystèmes très particuliers (caractères physiques, climatiques, écologiques et sociaux spécifiques). Elles sont formées par la superposition de deux systèmes, l'un naturel en limite d'amplitude bioécologique, et l'autre artificialisé ; tous deux sont fortement conditionnés par les ressources hydriques (**MATE., 2002 ; Shanzhong et Xiaoyu, 2010**). L'oasis est un écosystème fertile dans des zones de désert, fortement dépendantes des ressources en eau, dans lequel l'agriculture fait partie des principales activités humaines (**Shanzhong et Xiaoyu, 2010**). Elle est structurée en végétation multi-strates composées d'espèces de plantes sauvages et cultivées, et dominée par une canopée, au-dessous de laquelle une grande biodiversité animale et végétale se produit dans la strate inférieure de la végétation (**Gebauer et al., 2007; Guezoul et al., 2013**). La dynamique des oasis dans les terres arides a deux tendances opposées : (i) l'oasification qui fait référence à l'expansion des oasis, et (ii) la désertification induisant la contraction des oasis (**Xie et al., 2015**).

Traditionnellement, trois éléments fondamentaux structuraient le système oasien : l'eau, le palmier dattier et le Ksar. Le Ksar, un habitat regroupé à l'abri de murailles défensives, est toujours nettement séparé de la palmeraie. L'eau est exploitée à partir de nappes captives et phréatiques, généralement peu profondes (**Abdelguerfi, 2003**).

La gestion des paysages oasiens et les plantations du palmier dattier sont indissociablement liées dans les régions désertiques chaudes où la production de palmier dattier est le centre économique de l'agriculture oasienne (**Benchelah et Maka, 2008**). Le palmier dattier est connu comme une espèce à haute tolérance aux conditions chaudes et peut être cultivé sous une salinité modérée du sol (**Tengberg, 2014**). En raison de leur croissance verticale, les palmiers dattiers jouent un rôle-clé dans le maintien d'un microclimat approprié à l'agriculture saharienne et constituent un abri pour plusieurs espèces végétales et animales (**De Grenade, 2013**). Ce végétal est l'un des arbres de rente les plus cultivés dans les régions désertiques du monde entier (**Al-Khayri et al., 2015a, 2015b**).

D'après la Convention des Nations Unies pour combattre la désertification (CNUCD), la désertification signifie la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches résultant de divers facteurs (les variations climatiques et les activités humaines) (**Ci et al., 2010; Benabderrahmane et Chenchouni, 2010**). En 1998, plus de 900 millions de personnes dans 100 pays ont été touchées par ce phénomène, qui devrait doubler en 2025 (**Dooley, 2002**).

Les zones arides sont les zones les plus sensibles à la désertification dans le monde (**Reynolds et al., 2007**). C'est le cas des zones arides de la région méditerranéenne, qui en

raison de leur position géographique, sont les plus affectées par la désertification et la dégradation des terres par rapport au reste du monde. De nos jours, l'évaluation, la surveillance et la lutte contre la désertification constituent un véritable défi pour les chercheurs et les décideurs (**Chasek et al., 2015; Gnacadja, 2015; Liu et al., 2015; Stavi et Lal, 2015; Van den Elsen et Jetten, 2015**).

Sur les 238 millions d'ha du territoire Algérien, 200 millions d'ha sont occupés par la zone saharienne où les infrastructures socio-économiques sont soumises à un ensablement résultant d'un développement souvent incohérent et d'une exploitation anarchique des ressources de ces milieux sensibles. Sur les 38 millions d'ha du nord du pays, 36 millions d'ha forment la steppe et le présaharien, zone aride et semi-aride très sensible aux processus de désertification, et caractérisée par un surpâturage chronique (**Ghazi, 2006 ; Melouhi, 2006**). D'après la carte nationale de sensibilité à la désertification établie sur les 20 millions d'hectares de steppe, près de 8 millions ha sont désertifiés ou menacés par la désertification (**M'hamed, 2005**). En général, 87 % du nord de l'Algérie présente une forte à très forte sensibilité à la désertification (**Salamani et al., 2012**).

Les études qui ont été faites par l'outil de télédétection sur la région d'étude sont très rare à l'exception de la carte d'occupation des sols et la carte de sensibilité à la désertification-Wilaya de Biskra réalisées par L'ASAL et le DGF (**2010 a, b**). Parmi ces études, nous pouvons citer les travaux de **Hirche et al., (2006); Nezzar et al., (2007); Bousseker et Driche (2011); Rekis (2012)** et **Assami et al., (2014)** qui se sont intéressés, d'une part à la dynamique phoenicicole et l'inventaire des ressources phytoécologiques présahariennes, et d'autre part au risque d'ensablement (Loutaya-Oumache) et la relation entre l'état du surface et le pédopaysage (région de Loutaya).

Pour estimer et cartographier la désertification, plusieurs modèles ont été formulés : GMDS, (FAO/UNEP), GASD, UNEP, Atlas du monde de désertification, GDVM (**Zucca et al., 2014**). Le Modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification Et Land Use) est l'un des modèles le plus utilisés dans la région méditerranéenne (**Kosmas et al., 1999; Salvati et Bajocco, 2011 ; Ferrara et al., 2012 ; Ladisa et al., 2012 ; De Paola et al., 2013 ; Symeonakis et al., 2014 et Trotta et al., 2015**). Il est également appliqué et utilisé pour estimer les secteurs sensibles à la désertification dans les oasis de désert (**Hadeel et al., 2010 ; Rasmy et al., 2010 ; Bakr et al., 2012 ; Mohamed, 2013 et Ismael, 2015**).

La sensibilité des régions à la désertification est identifiée sur la base d'un index (indice de sensibilité à la désertification, ISD), qui intègre des données biophysiques sur la qualité

environnementale (climat, sol et végétation) avec des facteurs d'origine humaine (**Ladisa et al., 2012**).

Située dans une zone fortement aride et hostile, le système oasien de Ziban est soumis à une forte dégradation de terre : recul du couvert végétal naturel, ensablement, urbanisation, surpâturage, etc. La rareté des données environnementales est un défi commun dans les pays en voie de développement et les méthodes conventionnelles d'analyse en utilisant les données de la terre et de l'enquête de champ demeurent coûteuses. En fait, ces outils traditionnels ne peuvent pas par eux-mêmes fournir une vision synoptique du problème écologique et de ses conséquences. C'est dans ce contexte que se situe notre étude qui se veut une contribution à définir les outils et les méthodes à adopter afin de suivre, d'analyser et d'expliquer la sensibilité ou la vulnérabilité environnementale du système oasien du Ziban à la désertification.

La phoeniciculture constitue un axe important de développement agro-socio-économique de la région du Ziban. La prospection des sites favorables à la culture du palmier dattier est une tâche indispensable pour l'utilisation raisonnable des ressources disponibles des terres agricoles.

De nombreuses études se sont focalisées sur l'efficacité des méthodes biologiques de lutte contre la désertification à l'aide de diverses espèces végétales bien adaptées (**Liu et al., 2001; Lu, 2001; Mubiru, 2001; Hooke et Setercock, 2012; Neffar et al., 2013**). Le rôle des plantations de palmiers dattiers (PPD) dans l'arrêt de l'ensablement et l'atténuation de l'avancement de la désertification dans les déserts chauds a été rapporté dans plusieurs travaux (**Bekheet et El-Sharabasy, 2015 ; Sedra, 2015 ; Salah, 2015 ; Khierallah et al., 2015; Al-Yahyai et al., 2015**). Néanmoins, aucune étude jusqu'à ce jour n'a clairement prouvé l'impact de la plantation de palmier dattier (PPD) sur les tendances de la désertification à grande ou à petite échelle. En outre, l'objectif de cette étude vise à, (i) identifier les zones les plus sensibles à la désertification dans le système oasien de Ziban pour mettre à la disposition des décideurs, les groupes de recherche locaux, et le public intéressé, l'information sur la vulnérabilité à la désertification dans la région de Ziban, afin d'agir, et d'empêcher la progression de ce phénomène, (ii) démontrer le potentiel des PPD dans la lutte contre la désertification dans le Sahara d'Algérie, afin de promouvoir un système agro-écologique durable dans les oasis Algériennes, (iii) Prospecter les sites propices à la Phoeniciculture, (iv) mettre l'accent sur la biodiversité messicole et rudérale d'un écosystème oasien Algérien, et mettre en évidence la relation entre la végétation et les conditions de l'environnement à

travers certains traits fonctionnels (types morphologiques, biologiques, biogéographiques, chorologiques, stratégies adaptatives de Grime et les stratégie de Noy-Meir), (v) affirmer le potentiel de la technique de traitement de l'image par télédétection pour la surveillance, et la détection rapide des changements de terres dans les oasis et les paysages désertés. De plus, montrer le potentiel de l'utilisation du Système d'information Géographique pour suivre et détecter le changement de l'environnement avec exactitude et un coût relativement bas.

Cette thèse est présentée en cinq chapitres : Le chapitre I met l'accent sur l'écosystème oasien, suivie par le chapitre II qui présente des notions générales sur le Système d'Information Géographique (SIG) et la Télédétection. Le chapitre III est une présentation de la région d'étude. Le chapitre IV fait le point sur la méthodologie adoptée et utilisée. Le chapitre V présent les résultats obtenus et leurs discussions. À la fin de ce travail, on termine par une conclusion et les différentes perspectives de recherche en fonction des résultats obtenus, et les références bibliographiques exploitées.



Chapitre I

L'Écosystème Oasien

1.1. Les agrosystèmes

Selon Nahal (2004), les agrosystèmes (terres cultivées) sont des systèmes artificiels créés par l'homme depuis l'invention de l'agriculture, il y a déjà 10.000 ans, afin de satisfaire ses besoins en produits alimentaires et autres produits de la terre.

1.2. L'oasis

Au sens étymologique, l'oasis est un : « îlot de terrain apte à la végétation et l'habitation humaine, perdu aux milieux d'espaces désertiques. Une zone fertile dans une étendue de terrain aride. Un lieu qui offre une détente, un repos, qui se présente comme une exception au milieu de tout ce qui est désordre ». Au sens anthropologique et archéologique, c'est un terroir créé par la main de l'homme, son maintien implique une présence humaine et un apport continu de travail (Litnhouvongs et Ricaud, 2013).

Les oasis et les systèmes agricoles oasiens ont été définis et caractérisés suivant différentes approches : géographiques, bioclimatiques, agronomiques et socio-économiques (Skouri, 1990).

***sur le plan géographique :** l'oasis est définie comme un îlot de survie (ou de prospérité) dans un milieu aride,

***sur le plan bioclimatique :** l'oasis est un microclimat créé par l'homme en milieu aride et induit par l'étagement des cultures,

***sur le plan agronomique :** il s'agit d'un agrosystème intensifié établi, dans un espace isolé situé en milieu désertique,

***sur le plan socio-économique :** il s'agit d'un lieu de sédentarisation et d'intenses activités économiques et socio-culturelles dans un environnement désertique.

1.3. Les caractéristiques générales du milieu oasien

L'écosystème oasien est un écosystème très fragile, confronté à un sérieux problème de raréfaction des pluies et de désertification. Dans ce milieu, l'activité de production agricole (agriculture et élevage) est dépendante essentiellement de la disponibilité de l'eau de l'irrigation (eau de surface ou souterraine). En outre, les terrains affectés aux cultures sont confrontés à des problèmes d'ensablement et de salinité. Ces caractéristiques du milieu naturel rendent les conditions de vie très difficiles. Ces conditions, auxquelles s'ajoute l'isolement géographique, font qu'il existe peu de perspectives de revenus stables, d'où le phénomène de migration des populations des oasis vers les villes (Michel et al., 2002).

1.4. Les différents types d'oasis

1.4.1. Dans le monde

Les oasis à palmiers dattiers s'étendent sur environ 800 000 ha et font vivre une population oasienne d'environ 10 Millions d'habitants dont 7 à 8 millions d'oasiens. L'effectif palmicole est estimé à environ 105 Millions de palmiers dont 16% (27 Millions) en Afrique du Nord y compris l'Égypte (Sghaier, 1995). La production mondiale des dattes totalise environ 2.1 Millions de tonnes dont 35% sont offerts par les oasis d'Afrique du Nord. L'Iraq, l'Iran et l'Arabie Saoudite se placent parmi les plus grands producteurs des dattes dans le monde (Sghaier, 1995). Selon Jean et Edmond (2001), il existe plusieurs types d'oasis selon la situation géographique.

D'après les figures 1 et 2, les oasis intra-désertiques en Afrique sont de petite taille, contrôlent d'immenses espaces. Grâce à des aménagements hydrauliques complexes, elles subissent de multiples contraintes, l'eau y étant rare, tant sur le plan hydraulique que social. La terre est cultivée de manière intensive par de nombreux producteurs, avec des cultures étagées, palmiers, fruitiers, céréales ou légumes). Les oasis de piémont (pourtour méditerranéen, Yémen, Afghanistan, TaklaMakan) sont plus grandes que les précédentes. Elles utilisent l'eau issue des montagnes ; l'irrigation se fait par gravité dans des canaux jusqu'aux champs cultivés. Les oasis de plaines (Pendjab, Sind, Irak, Égypte) sont irriguées par des barrages qui distribuaient en saison sèche l'eau stockée : elles étaient traditionnellement productrices de cultures vivrières ; elles s'orientent maintenant vers la production de produits commerciaux (dattes, canne à sucre, fruits.) (Jean et Edmond, 2001).

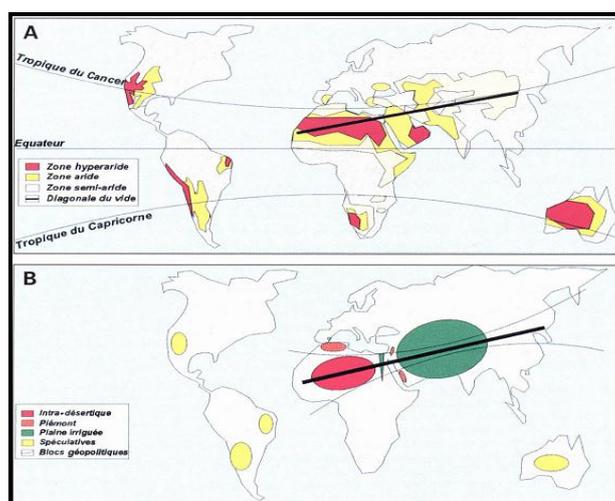


Figure 1. Zones arides et systèmes d'oasis, **A.** niveau d'aridité, **B.** Localisation des oasis (Clouet et Dollé, 1998).

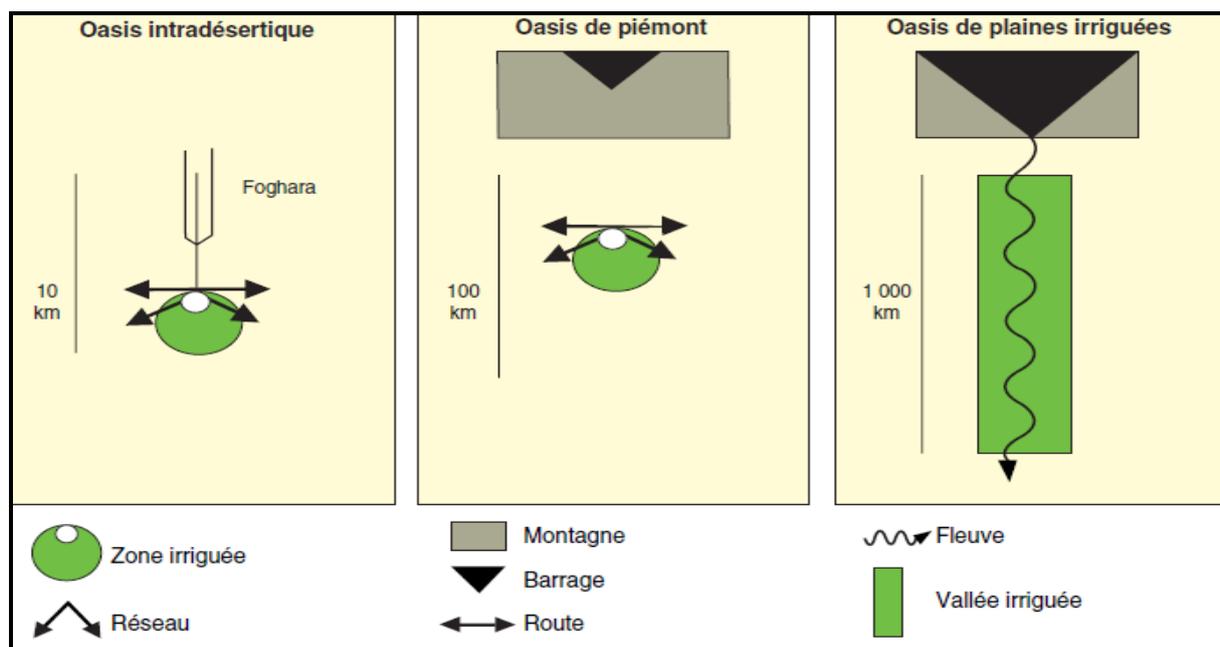


Figure 2. Les types principaux d'oasis dans le Monde (Clouet, 1995).

1.4.2. En Afrique

En Afrique, les trois grands types d'oasis se répartissent en oasis de vallée des grands fleuves allogènes (vallée du Nil), en oasis caravanière (la grande majorité des oasis septentrionales du Sahara.), en oasis de plantation (oasis de la plaine de Sous au Maroc) et les bas-fonds aménagés de la zone sahélienne ; bien qu'ils soient beaucoup moins bien structurés que les oasis sahariennes avec leurs trois étages de cultures (palmiers dattiers, arbres fruitiers et maraîchage). Il n'en reste pas moins vrai que ces dépressions sahéliennes présentent une densité d'arbres (arbres fourragers du genre *Acacia* ou fruitiers comme les manguiers, les palmiers dattiers, etc.) bien supérieure à la moyenne de la zone. Ces bas-fonds sont consacrés à la culture des céréales (mil pénicillaire, sorgho) pendant la saison des pluies et aux cultures de contre-saison pendant la saison sèche grâce à l'irrigation à partir de puits ou de forages (Bourzat et Goe, 1990). En Algérie, Les oasis sont cantonnées dans les bas sahara(de biskra à ourgla.) dans la dépression de la saouara et au pied du Tadmât(Gourara,Taout ,Tidikelt.).On y compte officiellement deux millions d'habitants et 7 millions de palmiers (Dubost , 2002).

1.4.3. Dans le pourtour méditerranéen

Selon les conditions du climat, on distingue trois zones (**Crossa-Raynaud, 1990**) :

***Les oasis à dattier**

Ce sont les oasis où la culture de variétés de dattier de qualité est possible. Les oasis de Gafsa et de Phénix sont légèrement en-dessous de cette limite : Il s'agit d'oasis où la température moyenne est suffisante pour assurer la maturité des dattes nobles. Dans ces conditions, il y a trois étages de végétation : les palmiers, les arbres fruitiers et les cultures vivrières.

***Les oasis côtières**

Ce sont les oasis où les variétés ordinaires de dattier peuvent mûrir. Il s'agit essentiellement des oasis côtières méditerranéennes où la limite inférieure est atteinte à Elche en Espagne : les conditions du climat se caractérisent par des hivers doux qui ne conviennent guère aux espèces fruitières à feuilles caduques.

***Les oasis de montagne**

Ce sont les oasis où la culture du palmier n'est plus possible car les fruits ne mûrissent pas, cas de Feriana en Tunisie, M'sila en Algérie, la Vallée de Dadès au Maroc. Ces oasis se caractérisent très souvent par des hivers froids, et des gelées printanières tardives. Elles sont, par contre, très chaudes en été et souvent soumises à des vents chauds et desséchants. Ce ne sont pas des conditions idéales pour réussir des plantations fruitières.

Dans les régions méditerranéennes, les oasis peuvent se classer selon les ressources d'eau en (**Charoy et Torrent, 1990**) :

***Oasis de dépression**, qui doivent l'eau à leur situation en contre-bas des montagnes ou des plateaux (oasis Farafrah du désert Lybien).

***Oasis de montagnes**, qui bénéficient des pluies provoquées par des hauts reliefs (Kir, Tibesti).

***Oasis fluviales**, irriguées par des fleuves, que ceux-ci coulent superficiellement ou souterrainement (oasis du Nil, du Draa, de la Saoura).

***Oasis artificielles**, dans lesquelles l'eau est obtenue par le travail de l'homme (puits artésiens, puits, galeries souterraines).

1.5. Les fonctions de l'oasis

1.5.1. La production

L'oasis est pour les agronomes un lieu de production où s'organise et se concentre l'activité agricole (Toutain et al., 1998). De plus, l'oasis est structurée en végétation multi-strates composée de plantes sauvages et cultivées, et dans laquelle la strate inférieure de la végétation renferme une grande Biodiversité d'espèces animales et végétales (Guezoul et al., 2013).

1.5.2. La résidence

L'oasis est un lieu habité ou fréquenté, lié à l'eau, mais la seule présence de l'eau ne suffit pas pour expliquer la création, le maintien ou la disparition de l'oasis. La constitution d'une oasis implique, au moment de sa création et au cours de son développement, une organisation humaine volontaire, susceptible de maintenir loin des régions peuplées, une main d'œuvre importante qui construit et entretient les systèmes d'irrigation, une population sédentarisée dans un milieu environnant hostile. En plus de ça, l'oasis représente un refuge pour plusieurs espèces animales, et un lieu de nidification des oiseaux et d'autres animaux (Toutain et al., 1998).

1.5.3. Le passage

L'oasis est une escale souvent obligatoire lors de trafics caravaniers sur de grands axes de circulation entre la Méditerranée et le Niger comme sur la route de la soie entre la Chine et l'Asie Centrale (Toutain et al., 1998).

1.5.4. Le point de départ des conquêtes

L'oasis, lieu d'identification des groupes sociaux qui s'y retrouvent peut devenir une base d'appui pour maîtriser de plus vastes espaces. Il en est ainsi des oasis du Hoggar en Algérie, de l'Aïr au Niger, du Fezzan en Libye et du Tibesti au Tchad (Toutain et al., 1998).

1.6. La bioclimatologie des oasis

L'oasis modifie en fait trois éléments (Riou, 1990) :

* La teneur en eau à la surface du sol est plus élevée en raison de la nappe d'eau proche ou de l'irrigation.

*La rugosité dynamique (ou la force de frottement du vent) augmentée par la présence des arbres et parfois de plusieurs niveaux de végétation.

*La répartition verticale de l'énergie rayonnante qui est distribuée dans l'oasis en fonction des strates végétales.

1.6.1. L'effet de l'oasis

La définition climatique de «l'effet oasien» du désert fait référence au phénomène de refroidissement provoqué par la végétation, une source d'humidité isolée se trouve toujours plus froide que son environnement dans une région par ailleurs aride, en raison du refroidissement par évaporation. L'oasis du désert est l'exemple le plus évident de cette situation. En effet, c'est un refroidissement se développera principalement en raison de l'ombrage fourni par les arbres dans une zone bien végétalisée. Le phénomène d'effet d'oasis est défini comme un refroidissement par évaporation due aux différences d'équilibre énergétique entre l'oasis et le désert (**Potchter et al., 2008**).

1.6.2. L'effet brise-vent de l'oasis

L'installation de brise-vent vivants entraîne une compétition pour l'eau ; mais cette servitude est destinée à protéger du dessèchement les espèces cultivées. La consommation en eau des brise-vent est partiellement compensée par la réduction de l'Evapotranspiration (ETP) de l'espace agricole. Un équilibre est à trouver entre la puissance du brise-vent et la rigueur du climat local pour gérer au mieux les ressources en eau disponibles. Dans l'Oasis, le palmier dattier joue lui-même un rôle protecteur contre les effets du vent. Mais ce rôle est limité car la densité de plantation, qui doit respecter l'espace suffisant dévolu aux cultures associées, est, à cet égard, souvent trop faible. Dans les palmeraies aérées, l'adjonction de brise-vent végétaux recoupant les parcelles cultivées permet une meilleure protection des cultures sous-jacentes ; toutefois, selon les espèces utilisées, ils peuvent devenir concurrentiels de ces dernières et des palmiers dattiers (**Ferry et Toutain, 1990**).

1.7. Une nouvelle répartition de l'énergie rayonnante

L'association d'arbres et des cultures basses peut se faire de plusieurs façons. Quand les arbres constituent des rangs assez distants, certains rayons solaires peuvent atteindre directement le sol et l'énergie totale qui parvient à l'étage inférieur dépend de l'ombre portée par les arbres et de leur porosité. Quand les feuillages des arbres se rejoignent, c'est

l'ensemble des rayons lumineux qui subissent une réflexion ou une absorption par les feuilles, avant de parvenir au sol (**Riou, 1990**).

1.8. L'utilisation des eaux dans les oasis

L'élément déterminant de l'existence des oasis est l'eau. Établies à l'origine à partir de sources d'eau, dont le débit était équitablement partagé entre les agriculteurs selon l'importance de leurs plantations, et de puits de surface pour un appoint d'irrigation, les oasis ont pris de l'extension. Ce développement a nécessité l'exploitation des nappes profondes par forages artésiens ou pompes (**Lasram, 1990**). Face aux exigences climatiques définies par l'ETP (Evapotranspiration), les ressources en eau sont très limitées. L'utilisation agricole des ressources en eau disponibles suppose donc une gestion parcimonieuse. Dans les pays maghrébins en particulier, l'exploitation des ressources en eau pour l'agriculture repose sur la création de retenues, l'exploitation des nappes souterraines, mais aussi, chaque fois que cela est possible, sur une gestion des eaux de surface issues du ruissellement, au niveau de la parcelle ou d'un petit bassin versant (**Charoy et Torrent, 1990 ; Damagnez, 1990 ; Kassah, 2010**). La ressource en eau considérable constituée par le « gisement » du Continental Intercalaire (C'est la plus grande couche d'eau du bas Sahara. Généralement, le bassin est situé dans les constitutions continentales de la couche inférieure. Il est formé de pierre, d'argile et de grain, sa profondeur change d'une région à l'autre) et du Complexe Terminal (Cet aquifère couvre une vaste surface d'environ 850 000 km². Il est relativement salé, et de 70 à 280 m de profondeur) (**Mechebbek, 1990 ; Merabet, 2009**).

1.9. Le système oasien en Algérie

Les oasis algériennes se localisent en grande partie dans le Nord du Sahara, où les conditions climatiques semblent être plus favorables pour l'épanouissement de cette culture. Ce sont des espaces totalement anthropisés, avec des systèmes de production intensifs et complexes, en un équilibre fragile (**Zella et Smadhi, 2006**).

1.9.1. Le climat

Les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs (**Ozenda, 1991**). Le climat saharien est caractérisé notamment par

la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température (Chehma, 2005).

1.9.2. Le sol

Les zones sahariennes sont constituées d'immenses étendues impropres à l'agriculture. Le plus souvent, dans ces régions, on appelle «sol agricole», des zones constituées de couches sédimentaires superficielles dont la fertilité et le pouvoir de rétention en éléments fertilisants et en eau sont faibles. Les horizons de surface sont le plus souvent recouverts d'apports sableux éoliens, ou sont très argileux, ou encore encroutés ou salés. L'agriculture ne peut se faire sans apports fréquents d'éléments fertilisants et d'eau (Djennane, 1990). Au Sahara il existe 6 grandes classes qui sont ; sols minéraux butés, sols peu évolués, sols calcimagnésiques, sols halomorphes, Sols hydromorphes, sols verticols. Dans les Oasis, le sol est de type ou classe peu évolués au niveau des dépressions alluviales non salées et les daïas surtout quand ils ne sont pas salés (Khadraoui, 2010).

1.9.3. L'eau

En Algérie, les ressources en eau sahariennes disponibles ne dépassent guère les 5,4 milliards de mètres cubes (Saker et Daddi, 2007). À côté des barrages réservoirs Les ressources en eau sont essentiellement constituées par les eaux souterraines (Fig. 3 et 4) : les nappes phréatiques, les nappes du complexe terminal (C-T) qui s'étend sur 1 000 000 km² et est partagée entre l'Algérie, la Tunisie et Libye, est composée de plusieurs unités stratigraphiques. Les nappes du continental intercalaire (C-I) qui sont essentiellement fossiles (Hamamouche et al., 2017).

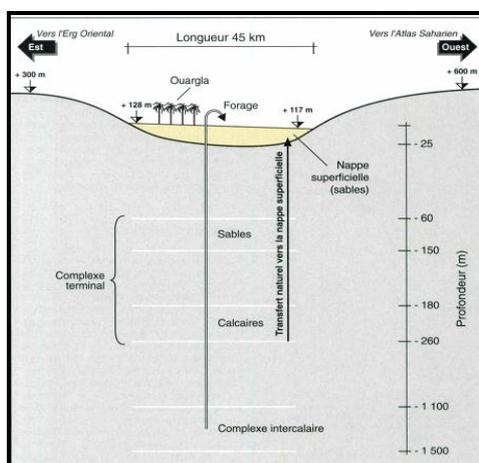


Figure 3 .Coupe schématique Nord-Sud des nappes profondes (C-T et C-I) de la cuvette d'Ouargla (Daoud et Halitim, 1994).

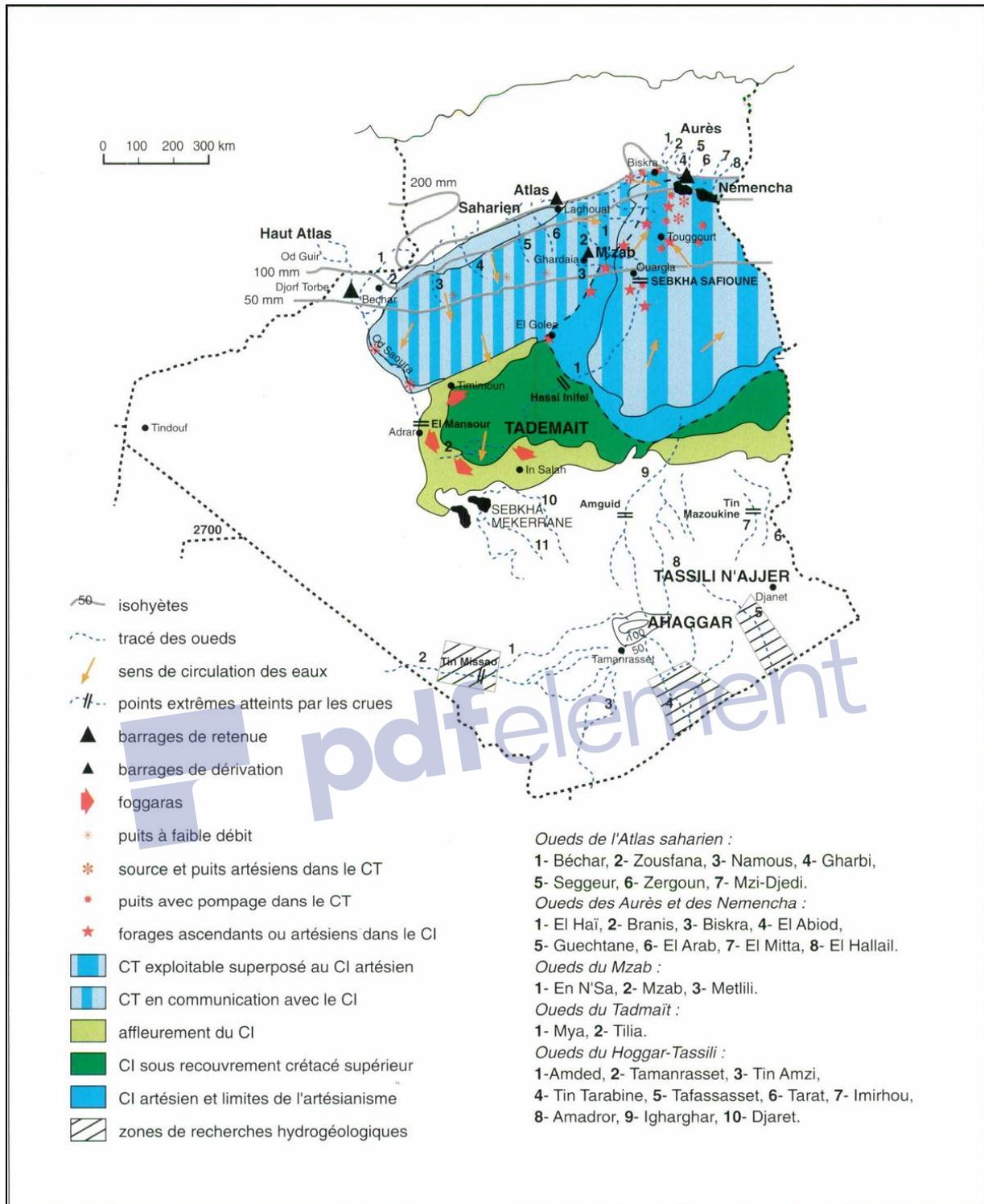


Figure 4. Les eaux souterraines du Sahara algérien (Dubost, 1992).

1.9.4. Les productions agricoles

À la fin des années 80, il est difficile d'établir un état précis de la production car l'autoconsommation demeure la règle dans beaucoup de cas (Dubost, 1986). Cependant, au début des millénaires, le secteur agricole a connu une vigoureuse reprise avec la mise en place

de plan de développement agricole ; la loi d'Accession de la Propriété Foncière Agricole (APFA), Générale des Concessions Agricoles (GCA), Plan National de Développement Agricole (PNDA)..., pour renforcer les productions agricoles (**Dubost et Larbi-Youcef, 1998**).

1.9.4.1. Productions végétales

D'après **Rahal (2006)**, la culture principale dans les oasis est le palmier dattier à l'ombre duquel se développe des cultures diverses (céréales, fourrages, plantes médicinales et condimentaires, cultures maraîchères et industrielles).

*Les cultures maraîchères

Représentées par les cultures plein champs (fève, pastèque, gombo,...), et la production maraîchères sous abris (tomate, poivron, piment, concombre...) (**Belguedi et al., 2008 b**).

*Les cultures fourragères

Elles sont surtout représentées par la luzerne et l'orge en vert (**Djennane, 1990**), Les cultures fourragères présentent donc un grand intérêt dans ces systèmes agricoles. Sur le plan agronomique et économique, elles participent à l'amélioration de la structure et de la fertilité du sol et contribuent à l'augmentation du revenu des petites exploitations familiales qui constituent la majeure partie des anciennes oasis (**Janati, 1990**).

*Les cultures industrielles

Représentées par le tabac et le henné, elles constituent une source de revenus importante pour les producteurs des zones des Zibans et de l'Oued Souf (**Belguedi et al., 2008 b**).

*L'arboriculture fruitière

Les arbres fruitiers (grenadier, vigne, abricotier, pommier, poirier, pêcher, néflier et figuier...) sont cultivés en association avec d'autres espèces tels que le palmier dattier, maraîchères (**Belguedj et al., 2008 a**).

*Les légumes secs et céréales

La céréaliculture est marginale et généralement limitée aux zones d'épétagé de crues d'oueds. Elle est itinérante et pratiquée le plus souvent pour des besoins fourragers. Les légumes secs sont principalement représentés par les fèves (**Belguedj et al., 2008 a**).

1.9.4.2. Les productions animales dans les oasis

L'élevage constitue un facteur important pour l'équilibre économique et écologique des systèmes agricoles oasiens. Il permet de valoriser les fourrages et les sous-produits

disponibles dans les oasis. La présence d'espèces fourragères, de légumineuses notamment, dans les assolements, et le fumier produit par les animaux, sont nécessaires au maintien de la fertilité des sols et à l'amélioration de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les produits de l'élevage (lait, viande) contribuent non seulement à l'amélioration de l'état nutritionnel des populations, mais aussi à la diversification de leurs sources de revenus (**Fig. 5**). Des activités artisanales sont également développées à partir des autres produits de l'élevage (poils, laines, peaux et cuirs) (**Skouri, 1990**). D'après **Djennane (1990)**, les principaux modes d'élevage dans le Sahara Algérien sont :

***L'élevage caprin**

On distingue deux modes d'élevage : l'élevage familial en milieu oasien et l'élevage transhumant en milieu steppique

***L'élevage ovin**

Cet élevage est surtout mené dans les zones steppiques, particulièrement dans les zones de Ghardaïa, Biskra et El Oued.

***L'élevage camelin**

Utilisé essentiellement comme moyen de transport, cette espèce joue un rôle important chez les nomades.

***L'élevage bovin**

Cet élevage est très limité dans les zones sahariennes et concentré principalement dans les Wilayates de Bechar, Biskra et Ghardaïa.

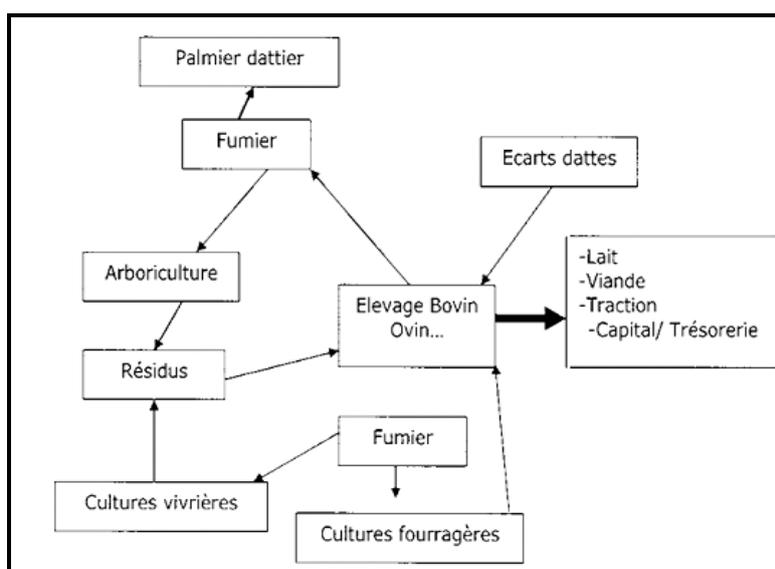


Figure 5. Elevage intensif : maillon important du système de production oasien (**Baba, 2005**).

1.9.5. Les facteurs de dégradations des oasis algériennes

Les facteurs contribuant à la dégradation des oasis algériennes sont les suivants :

1.9.5.1. La salinisation

De la manière générale au Sahara, la qualité de l'eau se détériore du Sud au Nord à cause des changements dans la lithologie du réservoir (MATE., 2002). De même la salinité augmente avec le temps de pompage. Au Nord-est de Sahara, les techniques actuellement mise en œuvres pour exploiter les eaux souterraines entraînent une forte extension des zones salées, un gaspillage important des eaux et une remontée de la nappe superficielle (Remonte des eaux due aux rejets des eaux de drainage et des eaux résiduaires urbaines) mettant en péril des oasis et des agglomérations entières (Kamal El-din, 1990 ; Daoud et Halitim, 1994 ; Idder, 2007). D'après MATE (2002) et Ghazi (2006), les terres des oasis subissent un phénomène de salinisation dû aux eaux d'irrigation, généralement situées au niveau des dépressions (problèmes de drainage) et au manque d'entretien du réseau de drainage (Fig. 6).

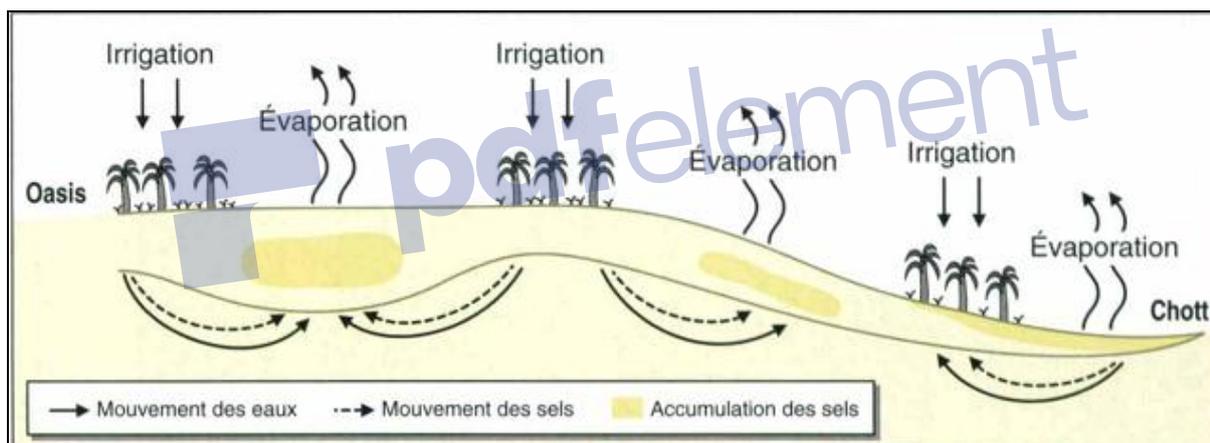


Figure 6. Dynamiques des eaux et des sels dans les oasis (Mtimet et Hachicha, 1995).

1.9.5.2. Les eaux usées

L'augmentation du volume des eaux usées dans les centres urbains due au phénomène de remontée des eaux menace la productivité de certaines palmeraies ; L'absence d'un exutoire naturel complique d'avantage le rejet du surplus d'eau et les eaux usées domestique. Cependant, la solution au problème de la remontée nécessite la suppression des fosses septiques et la généralisation d'un réseau d'assainissement (MATE., 2002 ; Miloudi et Remini, 2011).

1.9.5.3. Autres problèmes

Les oasis sont également confrontées à d'autres problèmes comme des difficultés nouvelles liées à l'accès à la propriété foncière agricole ; un puisage trop important ; une exploitation directe des parcelles en monoculture et l'abandon des terres à la suite des baisses de rendements ; un manque de technicité au niveau des exploitations et une urbanisation anarchique menaçant la qualité esthétique de certains Ksour (MATE., 2002).

1.9.5.3.1. Pompage excessif

D'après Dubost et Moguedet (1998), les foggaras, système d'irrigation original, ancestral et patrimoine unique, sont menacées par le pompage excessif des grands exploitants et le manque d'entretien. La foggara est constituée d'une galerie drainante, enfad, reliant la ligne des puits, *hassi*, visible en surface par les tas de déblais qui la jalonnent (Fig.7 et 8).

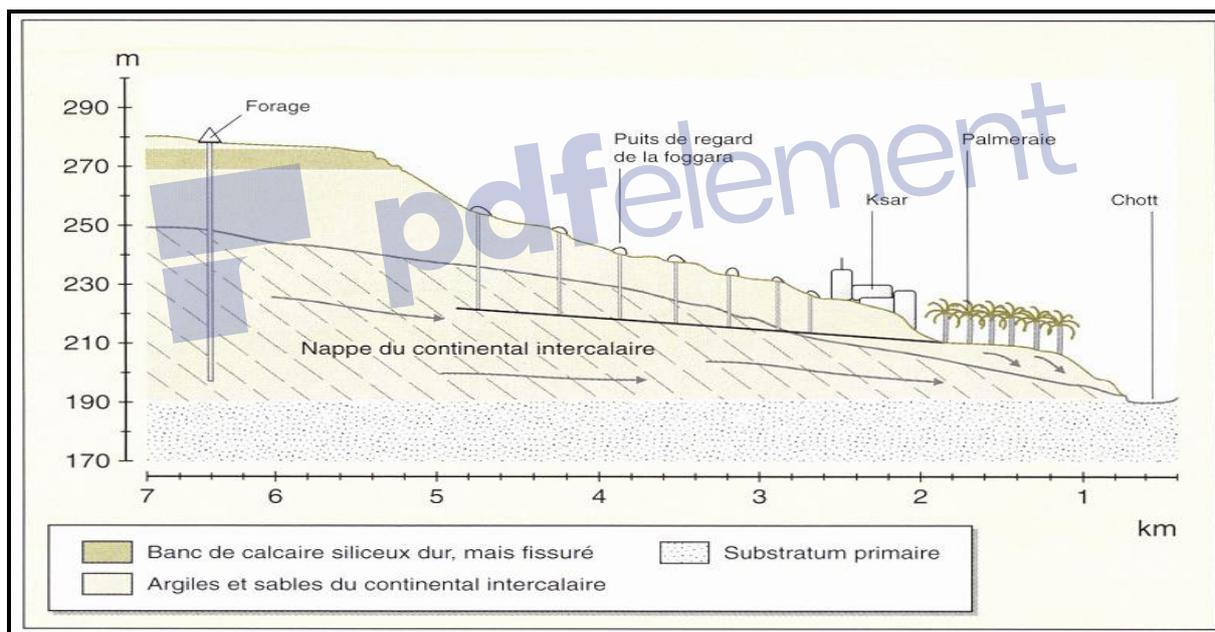


Figure 7. La foggara (Dubost et Moguedet, 1998).

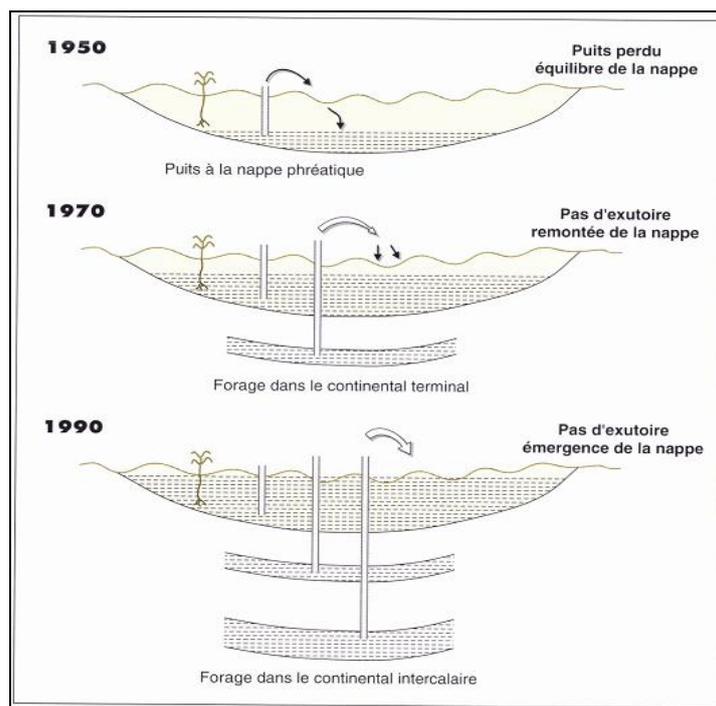


Figure 8. Évolution du comportement de la nappe phréatique (Côte, 1998).

1.9.5.3.2. Réchauffement climatique et les oasis

Le changement climatique est caractérisé par un ensemble de facteurs marquants : augmentation des températures et bouleversement du fonctionnement climatique global. Le changement climatique est l'un des enjeux forts du siècle en cours, pour les pays du Maghreb notamment et les régions oasiennes plus particulièrement qui présentent des atouts pour l'adaptation (Ghanem, 2013).

1.10. Politique agricole en Algérie

D'après Sahli (1997), l'agriculture algérienne a vécu ces vingt dernières années un vaste processus de transformation et de réformes structurelles qui a permis de faire émerger des expériences et des pratiques nouvelles, ainsi qu'un certain nombre de stratégies économiques et sociales. Ce processus de transformation et de réformes, conduit souvent par l'Etat en direction des producteurs et des zones de production, s'inscrit dans une politique visant à remettre en route une agriculture particulièrement faible et peu susceptible de permettre le dégagement du surplus alimentaire nécessaire à la satisfaction des besoins de la population (Fig. 9 et 10). L'État algérien confronté à la dramatique insuffisance de la production alimentaire, a lancé progressivement au cours des années 80, un mouvement de colonisation agricole des terres sahariennes, le Grand Projet de Mise en Valeur des oasis de l'An 2000

(Dubost, 1992). Après un quart de siècle de stagnation (1960-1985), le patrimoine phoenicicole algérien a bénéficié d'un programme conséquent, depuis 1985, dans le cadre de la loi d'accession de la propriété foncière agricole (APFA) de 1983. Les nouvelles plantations se sont souvent faites en dehors des oasis traditionnelles (Messar, 1990; Bouzaher, 1990). L'opération de mise en valeur agricole des terres sahariennes, après la promulgation de la loi portant accession à la propriété foncière agricole (APFA) en 1985, a permis le renouvellement du patrimoine phoenicicole algérien à hauteur de 20% (1,5 millions de palmiers plantés durant cette dernière décennie) (Belguedj, 1990).

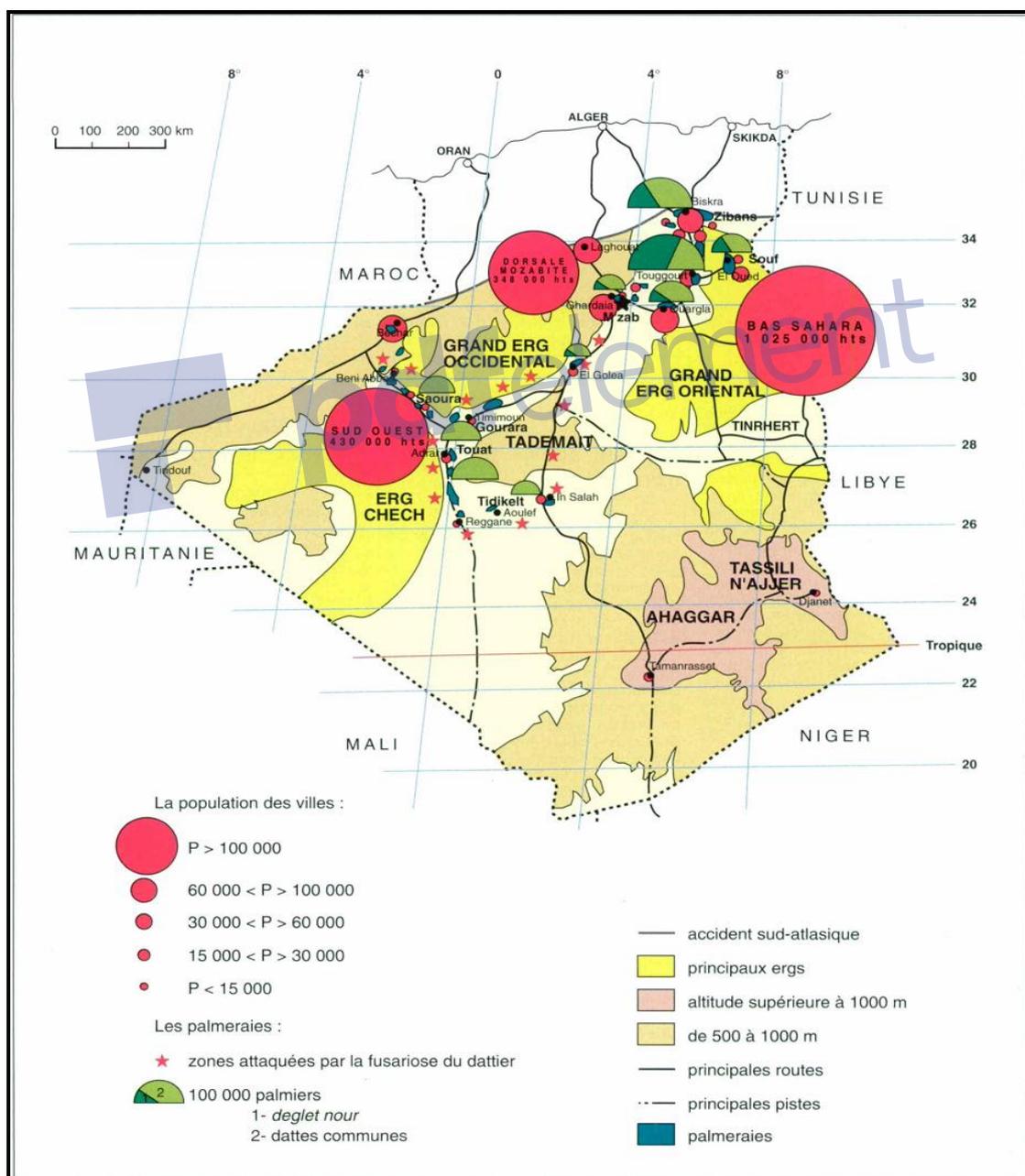


Figure 9. Schéma d'aménagement agricole en Algérie (Dubost, 1992).

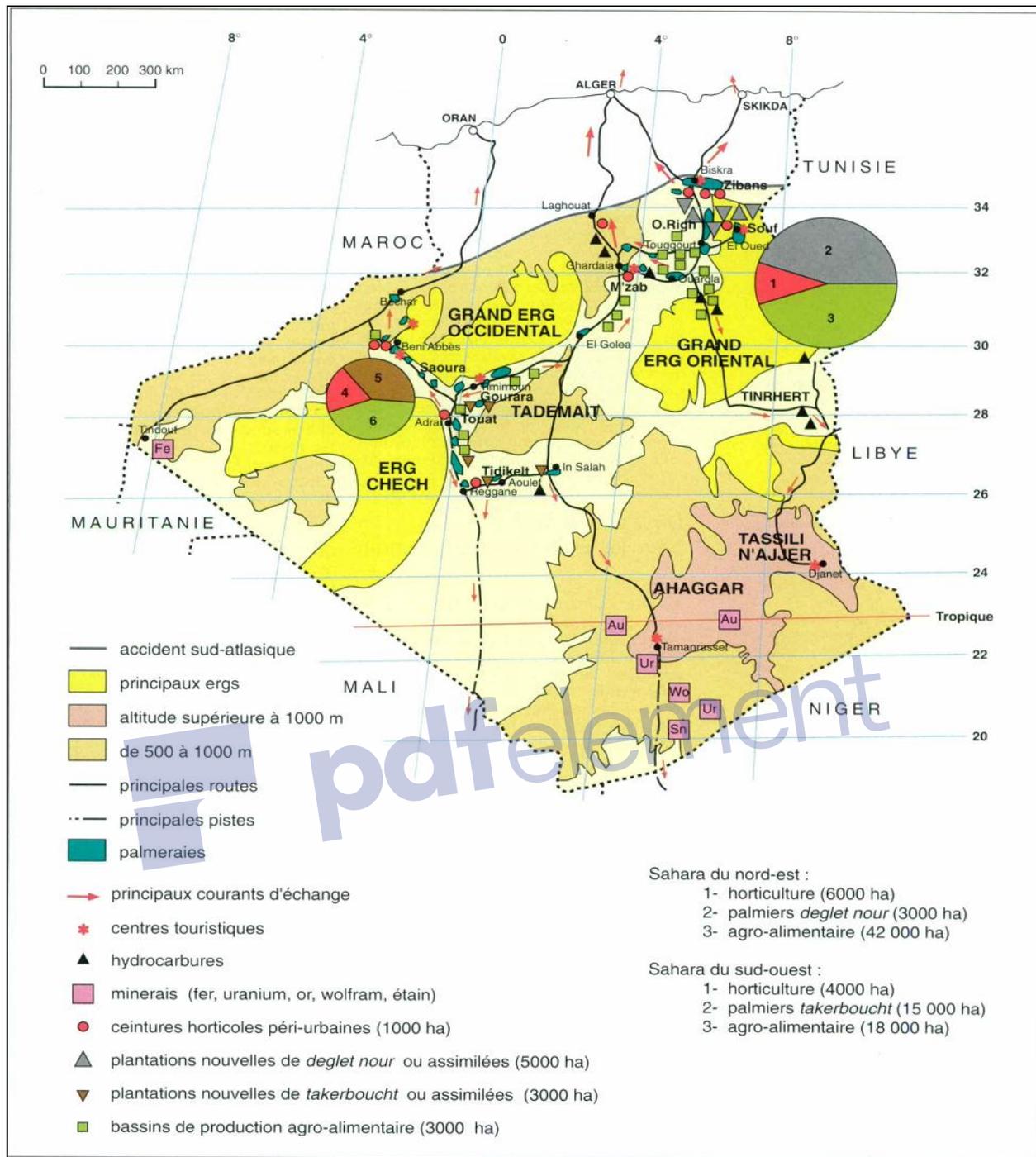


Figure. 10. Mise en valeur des oasis sahariennes Algériennes (Dubost, 1992).

1.10.1. La mise en valeur dans le cadre de la loi portant accession à la propriété foncière Agricole (APFA)

Le secteur agricole a connu une période de reforme où la restructuration des entreprises agricoles en 1982, suivie par une loi portant sur l'accès à la propriété foncière (APFA 83-18) promulguée en 1983. La présente loi N°83-18 a pour objet de définir les règles relatives à

l'accession à la propriété foncière agricoles par la mise en valeur des terres privées agricoles et à vocation agricole. Conformément à l'article 14 de la constitution, sont exclues du champ d'application de la présente loi, les terres relevant de régime de l'autogestion ou de fond national de la révolution agraire (**Aouidane, 2008**).

1.10.2. Le Plan national de développement agricole (PNDA)

Depuis l'année 2000, une nouvelle vision du développement agricole et rural est venue consacrer un nouveau modèle de financement de l'économie agricole et rurale. Cette vision est centrée sur le programme national de développement agricole et rurale (PNDA), un système d'aides publiques orienté vers l'exploitation agricole et les ménages ruraux (**Aouidane, 2008**). Selon **Bouammar (2010)**, le programme de relance du secteur agricole devra s'articuler autour de deux axes complémentaires :

* Le premier axe concerne le développement des productions agricoles : il s'agira d'adapter les mesures d'encadrement par filière à même de faire exprimer à chacune d'elle ses potentialités et d'assurer une synergie des interventions des différents acteurs, (de la production à la commercialisation) autour d'objectifs réalistes,

*Le second axe concerne l'augmentation, la protection et la préservation du potentiel productif et la réunion des conditions d'un développement de l'irrigation et la réunion des conditions d'un développement durable.

Il est composé de cinq programmes de développement (**Bouammar, 2010**) :

1. Le programme de développement des productions agricoles de large consommation et celles à avantage comparatif avéré. Ce programme est réalisé par les exploitants et les promoteurs avec le soutien financier de l'Etat à travers trois fonds :

- le fond national de régulation et du développement agricole (FNRDA)
- le fond de lutte contre la désertification et de développement du pastoralisme et de la steppe (FLDDPS)
- Le fond de développement rural et de mise en valeur des terres par la concession (FDRMVTC)

2. Le programme d'adaptation des systèmes de cultures aux différents milieux naturels (reconversion).

3. Le programme de reboisement dont les objectifs ont été réorientés en faveur du boisement utile et économique.

4. Le programme de développement des zones de parcours et de production de steppe

5. Le programme de mise en valeur des terres par la concession et celui de mise en valeur dans le Sud qui sera redynamisé selon une approche nouvelle.

Un ensemble de textes d'application a été pris pour rendre ce fond opérationnel (**Bouammar, 2010**) :

le décret N° 200-118 du 30 mai 2000 fixant les modalités de fonctionnement du fond.

* l'arrêté interministériel N° 00581 du 25 juin 2000 déterminant la nomenclature des recettes et dépenses imputables au fond.

* La décision interministérielle N° 000559 du 8 juillet 2000 fixant les conditions d'éligibilité au fonds, les modalités de paiement des aides ainsi que les taux de soutien par type d'activité.

*La loi de finances 1998, qui a institué le fond de mise en valeur par la concession. Ce fond a fait l'objet de mesures particulières visant la dynamisation de son utilisation à travers la General AGR-SPA ou générale des concessions agricoles (GCA).

1.11. La Durabilité de la modernisation agricole

1.11.1. Notion de développement durable

Le développement durable est un concept qui a fait son apparition dans les années 1980. Presque deux décennies plus tard, la majorité des acteurs de la société s'y réfèrent, qu'ils soient du monde économique, social ou environnemental. Un concept que le congrès international de NIKAN tenu à Jonquière au Saguenay (Canada) en 1997, et a rendu encore plus palpable (**Mercier, 2002**).

1.11.2. Agriculture durable et Développement agricole

L'agriculture durable est une philosophie fondue sur des buts humaines et sur la compréhension de l'impact, à long terme de nos activités sur l'environnement. Cette philosophie, si vous acceptons et l'appliquons, pourra nous guider votre savoir traditionnel de l'agriculture toute en l'enrichissant par les dernières découvertes scientifiques et techniques en vue de créer des systèmes agraires équitables, intégrés et respectueux de l'environnement. Le développement agricole est le mieux utiliser des ressources physique, biologique, et humaines disponibles (**Fig. 11**) ,donc le développement durable peut être défini comme un développement qui ; (i) satisfait les besoins des sociétés sans compromettre l'amplitude des générations futures à satisfaire leurs propres besoins, (ii) exige la gestion durable des

ressources disponibles et la réhabilitation de l'environnement dégradé à cause de la surexploitation (Nahal, 1999).

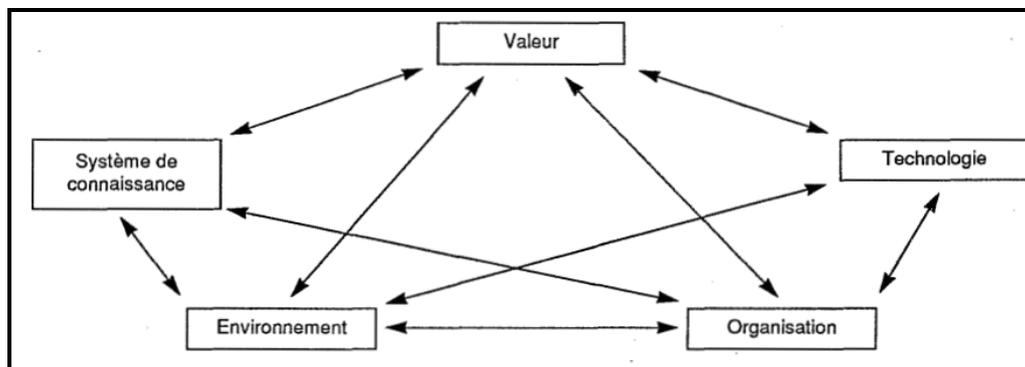


Figure 11. Modèle coévolutif entre la modernisation et la durabilité agricole (Sghaier, 1997).

1.12. Le palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une monocotylédone appartenant à la famille des Palmacées; la seule famille rattachée à l'ordre des Palmales. Cette famille renferme environ 225 genres et 2600 espèces, et peut être divisé en trois variétés en fonction de la dureté du fruit : variété humide, variété demi-seche, et variété seche (Al-Shayeb et al., 1995). L'espèce a révélé une tolérance élevée contre les conditions chaudes et un certain degré de salinité du sol (Tengberg, 2014). Le palmier dattier est l'une des cultures commerciales les plus cultivées dans les régions désertiques du monde ; la position taxonomique de palmier dattier est (Al-Khayri et al., 2015a, 2015b):

Division : Spermatophytes

Subdivision : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Arecales

Famille : Arecaceae

Subfamily : Coyphoideae

Tribe : Cryosophila

Subtribe : Phoeniceae

Genre : *Phoenix*

Espèce : *Phoenix dactylifera*

1.13. La morphologie du palmier dattier

Un palmier dattier mature peut atteindre 30 m de hauteur et est la plus grande des espèces de Phoenix. La tige a un diamètre de 40–50 cm, portant des ramifications à la base pendant les premières années de croissance. Les feuilles sont pennées et dressées avec de nombreuses feuilles rigides. Un palmier adulte a une frondaison moyennement dense de 100 feuilles ou plus, de 3 à 6 m de longueur; chaque feuille a une durée de vie de 3 à 7 ans; environ 12 nouvelles feuilles sont produites chaque année. Le dattier est dioïque et porte des fleurs mâles et femelles sur des arbres séparés (**Fig.12**). La dioécie dans le palmier dattier est un obstacle à la propagation des semences et à l'expérimentation de croisements traditionnels, car un nombre égal de plantes mâles et femelles est produit et leur sexe n'apparaît pas dans le champ jusqu'à ce que la floraison commence. Propagé par la graine, il atteint la maturité sexuelle vers l'âge de 5 à 7 ans, beaucoup plus tôt s'il est issu de ramifications. La floraison est normalement annuelle. Le développement des fruits de la pollinisation à la maturité est atteint en 200 jours environ. Sa forme, sa couleur et sa taille sont variables, soit $4-7 \times 2-3$ cm, plus importantes que dans toute autre espèce de Phoenix. Les rendements sont très variables, de 20 à 100 kg par arbre adulte et dépendent du cultivar, des conditions environnementales et des pratiques culturales. Les fruits contiennent une seule graine allongée, de forme et de taille variables, de $20-30 \times 5-8$ mm, contenant une huile utile. En moyenne, une plantation a une durée de vie économique d'environ 50 ans, bien que les arbres continueront à produire des fruits au-delà de cet âge, mais avec des rendements plus faibles. Lorsque les arbres deviennent très grands, ils sont plus coûteux à entretenir et à récolter, ce qui nuit à l'économie de la production (**Johnson et al., 2015**).

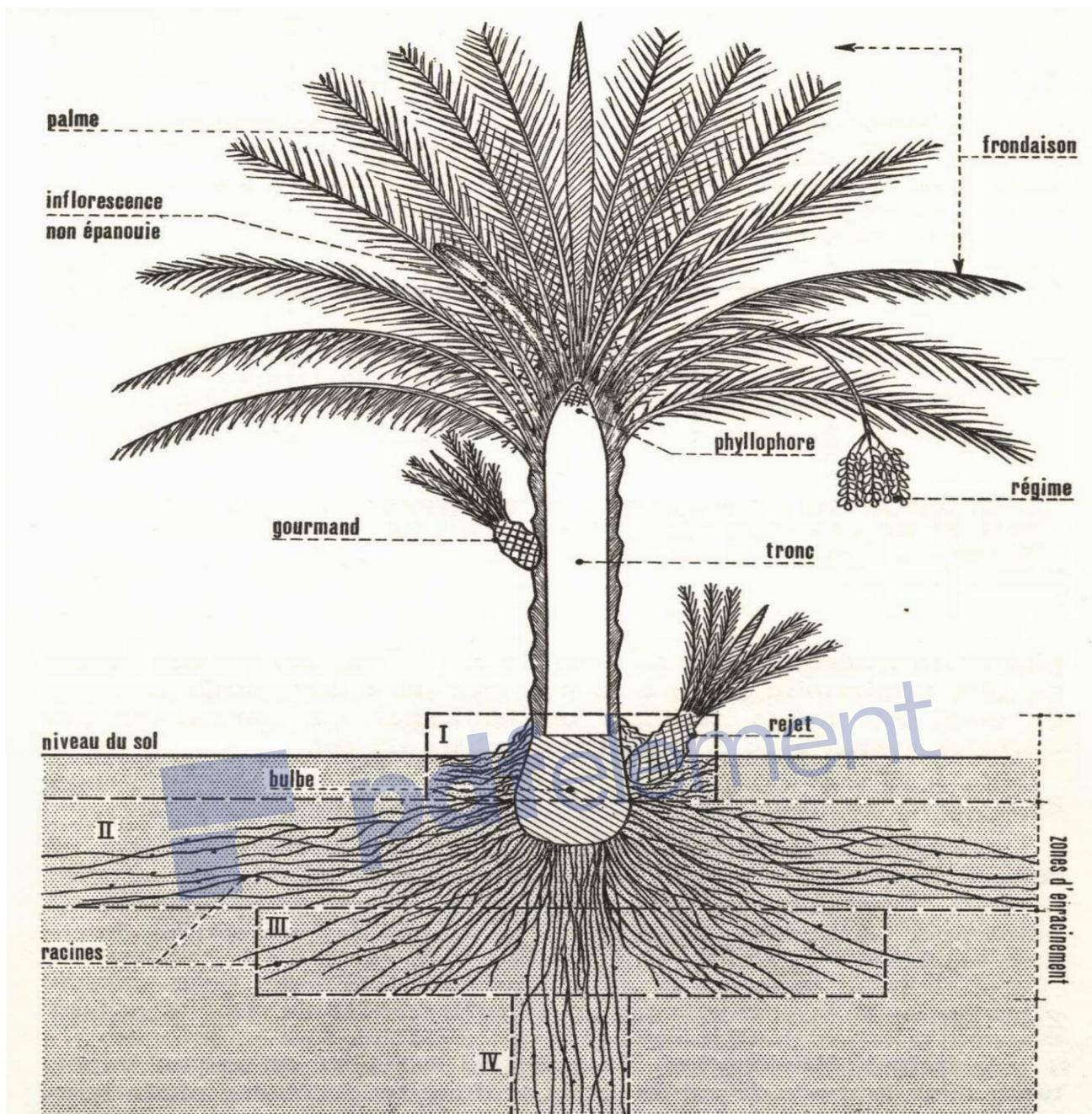


Figure 12. Représentation Schématique du Palmier dattier (Daher, 2010).

1.14. Exigences du palmier dattier

1.14.1. Exigence climatiques

Le palmier dattier offre de larges possibilités d'adaptation, mais il devient classique de dire que pour mûrir normalement ses fruits, le palmier dattier exige une température très élevée et une atmosphère sèche. En effet, le palmier craint le gel et les "zéro" de végétation sont + 7°C et + 45 °C. La température optimale oscille entre 32 °C et 38 °C. La

somme de température et le degré hygrosopique moyen limitent l'aire culturale de certaines variétés (**Khadhi et al., 1995**). Un autre facteur à prendre en considération est la pluie d'automne, car elle limite souvent les possibilités d'extension. Ces pluies sont parfois très intenses, ce qui peut engendrer des dégâts importants, en fait, les dattes murissantes sont très sensibles à la pluie en cette période (**Khadhi et al., 1995 ; Belguedj et al., 2008b**).

1.14.2. L'eau d'irrigation

Le palmier dattier résiste très bien à l'eau salée, à des teneurs de 4 à 5 g/l de résidu sec. Le volume d'eau dépend des régions et de la qualité d'eau. Les meilleures palmeraies utilisent 0,7 à 0,81/sec, soit 25 000 à 30 000 m³/ha (**Khadhi et al., 1995**).

1.14.3. Le sol

Le palmier est peu exigeant sur la qualité du sol, le sol des palmeraies généralement est de type peu évolué, halomorphe et/ ou hydromorphe. Ces sols présentent une faible teneur en matières organique et en éléments fertilisant ; le PH est voisin de la neutralité à légèrement alcalin (**Khadraoui, 2010**).

1.15. La phoeniculture

Cette arbre est un grand consommateur d'eau, mais avec deux atouts : il support très bien les fortes températures et est capable à partir des sols salés de produire un des fruits les plus sucrés qui soient (**Côte, 2008**). D'après la **figure 13**, et du point de vue répartition des palmiers et production de dattes en Algérie, on peut subdiviser le Sahara algérien en sept régions productrices de dattes : Zibans, Oued-Righ, Oued Souf, Ouargla, M'zab, Saoura, Touat et Tidikelt (**Messar, 1990**).

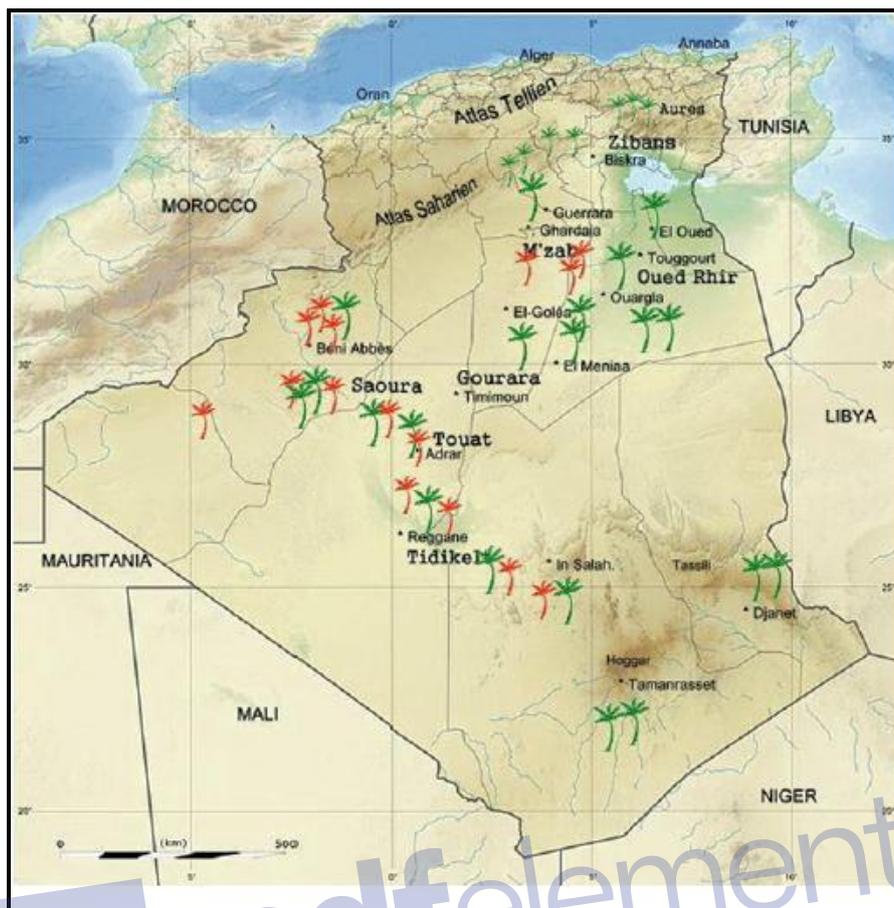


Figure 13. Les principales oasis algériennes (Bouguedoura et al., 2015).

En 2001, la culture du palmier dattier occupait 101 433 ha dont plus de 95% en irrigué (96 697ha) et seulement 4,4 % en sec. Les trois Wilayas du Bas-Sahara représentaient à elles seules 93% de l'ensemble des superficies sahariennes dédiées à la production de dattes : Biskra (27 800 ha), El-Oued (25 700 ha) et Ouargla (17 100 ha) (Kouzmine, 2012). En Algérie, plus de 800 cultivars locaux sont inventoriés (Tab. 1). Trente-cinq (35) cultivars principaux ont une grande distribution (Benkhalifa, 1990). Du point de vue des variétés, on distingue une prédominance totale de la 'Deglet Nour' dans les zones Sud-Est du pays (Zibans, Oued Souf, Oued Ghir), une présence marquée du type "ghars" dans la cuvette de Ouargla et des espèces très diverses de palmiers "Degould" de faible valeur marchande dans le Sud-Ouest (Messar, 1990). Cette tendance à ne cultiver qu'un nombre réduit de variétés se manifeste également ailleurs, en particulier en Algérie, 45 % des palmiers n'appartiennent plus maintenant qu'à la seule variété Deglet-Nour. Ce choix est très risqué d'un point de vue sanitaire et économique. Si cette tendance se poursuit sans qu'aucune mesure conservatoire ne soit adoptée, cela signifie également à terme une grave érosion du patrimoine génétique (Ferry et al., 1998). Certains cultivars endémiques (Takerbouchte, Aghares) sont très

développés dans les zones infectées par la fusariose du dattier, ce qui peut expliquer une sélection orientée pour la résistance à la maladie (Bouguedoura et al., 2015).

Tableau 1. Inventaire variétal (cultivar) dans les trois régions phoenicicoles d'Algérie (Bouguedoura et al., 2010)

Région	Nombre de cultivars	Cultivars les plus courants
Ouest		
Atlas	70	Ghares, 'Asyan, Feggus,
Saoura	80	Feggus, Hartan, Cherka, Hmira, Deglet Talmine
Gourara	230	Hmira, Tinnaser, Taqerbuch
Touat	190	Tgazza, Aghamu, Taqerbuch
Tidikelt	60	Tgazza, Taqerbuch, Cheddakh, Aggaz
Centre		
El-Ménia	70	Timjuhart, Ghars, Timedwel
M'Zab	140	Azerza, Ghars, Deglet Nour, Taddela
Est		
Ouargla	70	Ghars, Deglet Nour, Degla Beida
Oued Righ	130	Deglet Nour, Ghars, Degla Beida
Souf	70	Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla
Zibans	140	Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla
Aures	220	Buzrur, 'Alig, Buhles, Mich Degla
Tassili	180	Tanghimen, Tabanist, Khadaji

1.16. Le marché de datte

La datte est le plus souvent la principale production de rente des palmeraies. Elle constitue également un aliment de qualité pour le bétail, un élément important de l'équilibre des systèmes de production oasiens traditionnels (Didier, 1998). Le marché de la datte algérienne, d'un côté longtemps lié à la France pour l'exportation, et d'une autre côté axé sur une réponse à un marché local à consommation traditionnelle, n'a pas évolué (Djenane, 1990). En fait, l'Algérie est le 4ème producteur mondial de dattes avec 789.357 millions de tonnes et 27.660 millions de dollars de bénéfices en 2012 (Al-Khayri et al., 2015a).

1.17. Les contraintes majeures du palmier dattier

1.17.1. Les maladies

Une cinquantaine d'espèces s'attaquent au Palmier dattier et à ses produits, appartenant pour la plupart à la classe des Insectes. Certaines se nourrissent de sève, d'autres en consomment les palmes et le bois et d'autres se développent aux dépens des fleurs et des fruits verts, mûrs ou en stock (**Jerraya, 1990 ; Bounaga et Djerbi, 1990**). Les principaux insectes ravageurs sont le ver de la datte et la cochenille blanche. La lutte chimique n'a pas donné de bons résultats et n'est pas utilisable dans les oasis. La lutte biologique contre la cochenille blanche a été utilisée avec succès dans plusieurs pays phoenicoles et celle destinée au ver de la datte est en bonne voie (**Brun et Khoualdia, 1990**). L'agriculture traditionnelle sous les palmiers qui en dépend risque également de disparaître.

On peut signaler d'autres facteurs de dégradation des oasis sahariennes :

- * Le phénomène de vieillissement du verger phoenicole par faute de régénération (**Bouguedoura et al., 2010**).
- * Le Bayoud qui constitue le principal fléau des palmiers dattiers est dû à un champignon présent dans le sol qui envahit les racines des palmiers et entraîne leur destruction (**Tab. 2**). D'après **Kettout et al. (2008)**, le Bayoud a détruit plus de 10 millions de palmiers au Maroc et plus de 3 millions en Algérie, affectant surtout les cultivars productifs et d'intérêt commercial. De plus :
- * Les attaques d'insectes et l'absence de traitement phytosanitaire.
- * La baisse de la fertilité des sols.
- * La déficience du système d'irrigation sur le plan économique et social et le développement des activités pétrolières et le phénomène de l'urbanisation autour des principales oasis ont provoqué l'exode de la main d'œuvre jeune.
- * La désertification et l'ensablement de plus en plus importants (**Bouguedoura et al., 2010**).
- * la pression démographique liée à l'urbanisation : la population de la zone saharienne a quadruplé entre 1956 et 1999 (5 000 000) (**Bouguedoura et al., 2010**).

Tableau 2. Sensibilité des cultivars à la fusariose (Ali Brac et al., 1991)

	Sensible	Tolérant	Résistant
'Adam Bullah		1	1
Aggaz		1	1
Aghamu	1	1	
Cherka (Bent Cherk)	3	1	
Deglet Nur	1	1	
Feggus	8	1	
Ghares	1		1
Ghars	1	1	
Hartan	4	2	
Hmiira (Tilemsu)	4	2	
Tadmama	3	2	
Takermust	1	1	
Tazerzayt	4	1	
Timjuhart	1	2	3
Tinnaqor	1	2	
Tinnaser	2	4	
Tinurigh	1	1	
Uargliya	1	1	

1.17.2. L'érosion génétique

Un cultivar est dit menacé d'érosion quand il est âgé, ne produit plus de rejets et n'est plus multiplié dans aucune exploitation (Acourene et al., 2007 ; Bouguedoura et al., 2010). Dans les pays phoenicicoles méditerranéens, plusieurs centaines de variétés de palmier dattier sont encore cultivées, mais sérieusement menacée de disparition. En Algérie, les nouvelles plantations ont été réalisées essentiellement, depuis une trentaine d'années, à partir de la seule variété 'Deglet Nur'. Le palmier dattier est un arbre à vie longue (plus de 100 ans). Dans le même temps, les palmiers des autres variétés ont vieilli et ont été rarement ou pas propagés (Ferry, 1990).

1.18. La phytocœnose oasienne et l'ambiance climatique favorable à une production globale

La végétation qui pousse à l'état spontané est assez diversifiée aussi bien sur les parcours situés en dehors des oasis qu'à l'intérieur de ces dernières. Cette végétation spontanée constitue un support pour l'alimentation deus cheptel (Hafida, 2006). Le microclimat créé par les frondaisons de palmier dattier dans l'oasis permet (Ferry et Toutain, 1990), d'une part, de respecter au mieux les exigences d'espèces cultivées en association, mais n'ayant ni les mêmes besoins, ni les mêmes tolérances. D'autre part, de lutter avec efficacité contre les ardeurs du macroclimat désertique, à températures élevées (et, à l'inverse, très basses à certaines périodes pour les oasis continentales et d'altitude) où l'air est très souvent sec, les

vents fréquents, parfois chauds à brûlants, chargés généralement de poussière et de sable (et quelquefois très froids, entraînant des risques de gel).

D'après le **Tab. 3**, et selon le type d'association et les disponibilités en eau, nous pouvons distinguer les principaux systèmes de culture (**Hajjaji, 1990**) :

Tableau 3. Les principaux systèmes de culture (**Hajjaji, 1990**)

En zones phoenicoles vraies	Périmètres irrigués par les eaux de crue	Périmètres irrigués par les eaux de pompage ou par les eaux des barrages de retenue
	1 ^{ère} strate : céréale 2 ^{ème} strate : palmier dattier	1 ^{ère} strate : céréales, luzerne, maraîchage 2 ^{ème} strate : palmier dattier.
En zones phoenicoles marginales	1 ^{ère} strate : céréales, luzerne, maraîchage. 2 ^{ème} strate : olivier, amandier. 3 ^{ème} strate : palmier dattier	
En zone de montagnes	1 ^{ère} strate : céréales, luzerne, maraîchage 2 ^{ème} strate : olivier, pommier, noyer.	



Chapitre II

Systeme d'Information

Géographique et

Téledétection

2.1. Le système d'information géographique

2.1.1. La définition

Les SIG sont un environnement de traitement de l'information à référence spatiale (Claude, 2004). Il s'agit d'après Berry et Miellet (1999) d'un système d'information (SI) dont l'objectif est de décrire un territoire de façon à améliorer sa connaissance et à permettre la description et l'analyse des phénomènes naturels ou humains qui s'y produisent (Fig.14).

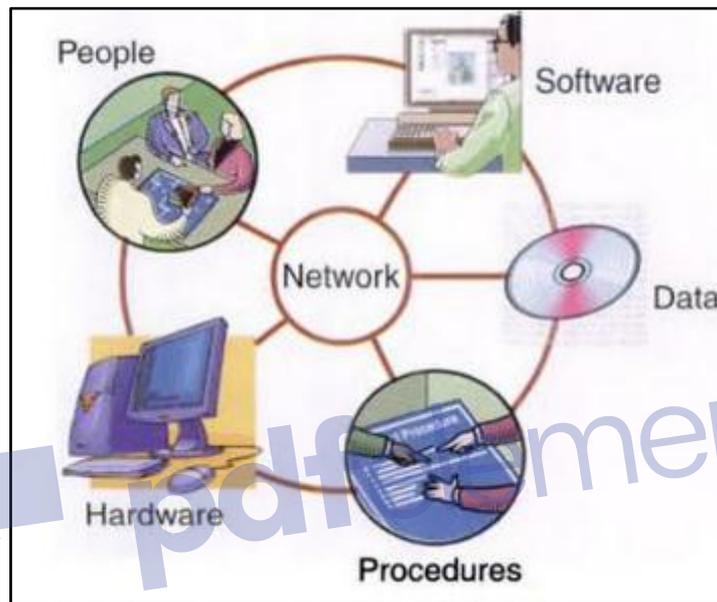


Figure 14. Conception de SIG (Longley et al., 2005).

2.2.2. Les données géographiques

2.2.2.1. Les coordonnées terrestres

La terre est une sphère, mais une sphère imparfaite : Le géoïde est la forme théorique qui se rapproche le plus de la surface réelle de la terre c'est-à-dire le niveau moyen des mers (Fig. 15).. Il sert de référence pour déterminer les altitudes (Lu et al., 2014).

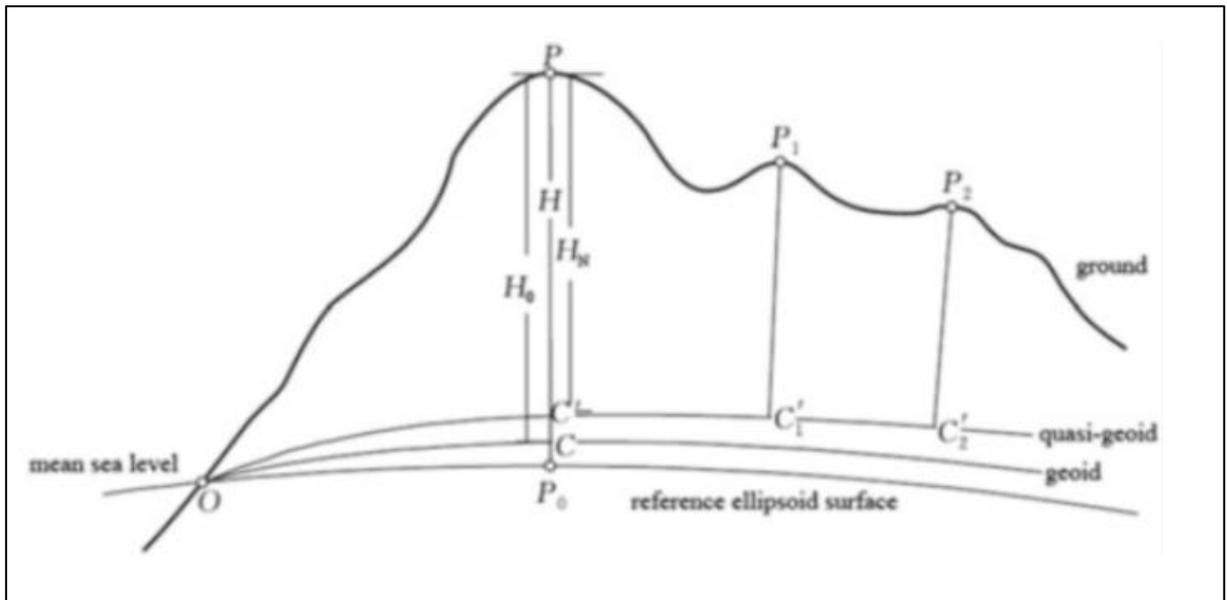


Figure 15. Le géoïde est la forme théorique de la terre (Lu et al., 2014).

L'ellipsoïde est la surface mathématique qui se rapproche le plus de la forme du géoïde (Fig. 16) et grâce à ce dernier, les coordonnées géographiques en Longitude et en Latitude sont facilement calculables (Lu et al., 2014).

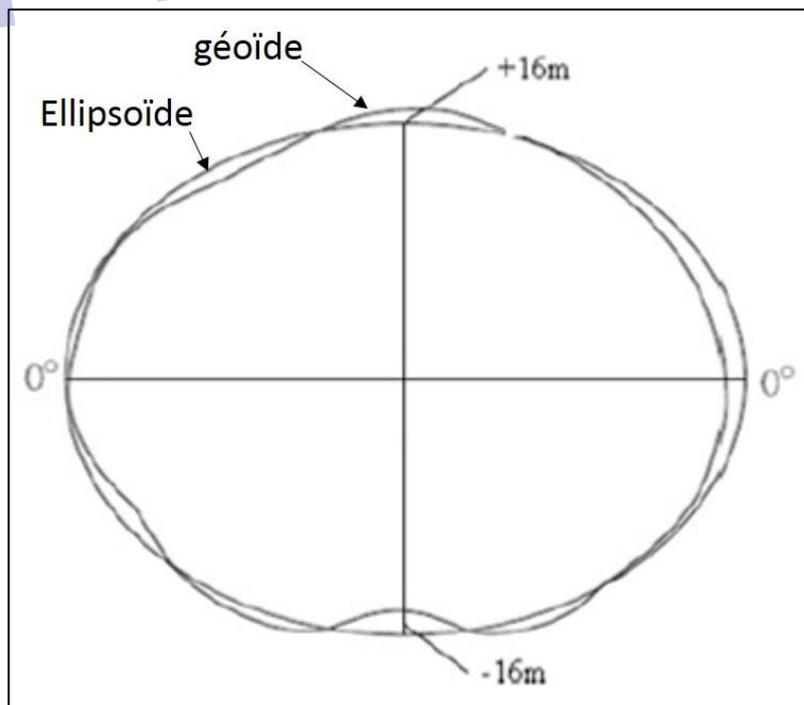


Figure 16. L'ellipsoïde (Lu et al., 2014).

Le procédé mathématique qui permet le passage de l'ellipsoïde au plan se nomme : système de représentation plane ou système de projection ou projection Un Daum (ellipsoïde local) est créé sur l'ellipsoïde sélectionné et peut incorporer des variations locales d'altitude. Le datum et l'ellipsoïde sous-jacents par rapport auquel les coordonnées d'un jeu de données sont référencées peuvent changer les valeurs de coordonnées. On peut sélectionner un ellipsoïde particulier à utiliser dans une zone géographique spécifique, s'il imite particulièrement bien le géoïde de cette partie du monde (Lu et al., 2014).

2.2.2.2. Le système des coordonnées

Le système des coordonnées est une structure de référence fixe superposée sur la surface d'une zone permettant d'y désigner la position d'un point. La base géographique est accordée à un système de coordonnées terrestres, généralement les méridiens et les parallèles, dans le cadre d'une projection cartographique donnée c'est le géoreférencement ; tout point de la base et par conséquent tout objet intégré au SGBD sont identifiés spatialement en X et en Y avec précision. Le système de coordonnées cartésiennes et le système de coordonnées géographiques utilisés sur la surface de la terre sont des exemples courants de systèmes de coordonnées (Steinberg, 2002).

2.2.3. La projection de la carte

Une projection de carte figure un objet tridimensionnel, tel que le globe de la terre, dans un format bidimensionnel. La projection de la carte est tout simplement le composant le plus intrigant du système de coordonnées mettant en référence parce qu'il offre un niveau élevé de flexibilité (Galatia, 2006). La procédure mathématique qui permet le passage de l'ellipsoïde au plan se nomme : système de projection ou projection. Ceci est impossible sans provoquer des déformations (on dit des altérations) des longueurs, des angles et des surfaces, la tâche assignée aux projections réside dans la réduction aussi poussée que possible de ces altérations, qui sont d'autant plus importantes que l'échelle est réduite (Steinberg, 2002).

2.2.3.1. Le classement des systèmes d'après la surface de projection

Les trois surfaces de projection les plus courantes sont planes, coniques et cylindriques (Fig. 17). Elle peut être tangente ou sécante, directe, transverse ou oblique (Andrew, 2017).

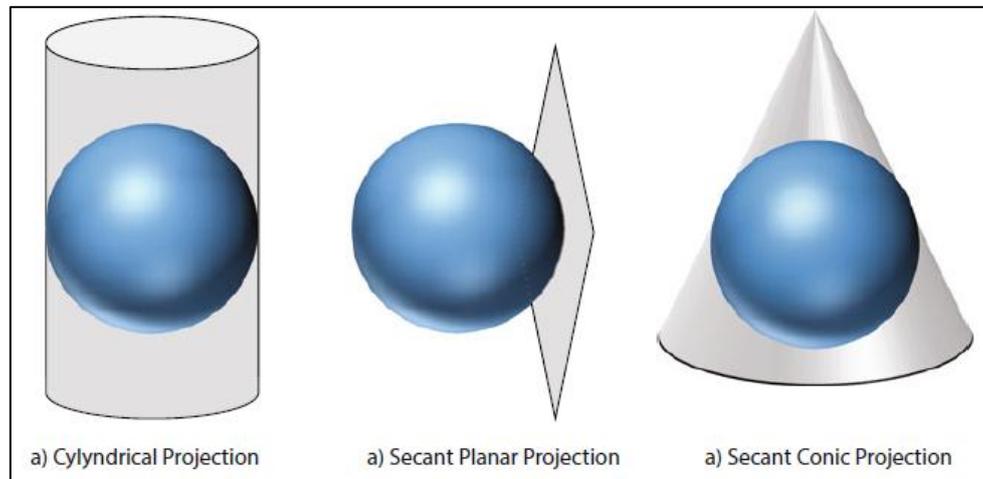


Figure 17. Les types de projection (Andrew, 2017).

2.2.3.2. Les types de projections en Algérie

2.2.3.2.1. La projection conique Conforme de Lambert

Pour les États-Unis, la conique conforme de Lambert utilise les parallèles standards de 33° N et 45° N. Cela permet de conserver une distorsion d'échelle relativement faible, même pour les bords de la carte ($\sim 3\%$). Cette projection est la meilleure pour les pays et les États qui affichent une tendance résolument est-ouest dans leur étendue géographique (Andrew, 2017).

2.2.3.2.2. La projection Universal Transverse Mercator (UTM)

UTM est un système de projections les plus couramment utilisées avec des données couverture nationale et mondiale. Il est basé sur la projection de Mercator, qui est équatoriale, mais il a été déplacé vers la transversale (enveloppant le cylindre autour des pôles, plutôt que l'équateur). Au total, il existe 60 zones UTM et le principal avantage de cette structure organisationnelle est que, pour une zone donnée, les bandes nord-sud projetées (également appelées «gores») ne présentent pratiquement aucune distorsion de forme et très peu de distorsion de surface. En conséquence, l'analyse spatiale dans une zone UTM est assez précise. Par exemple, la distance entre les points peut être calculée sans erreur supérieure à $0,04\%$ (Andrew, 2017).

2.2.4. L'échelle

Par définition, l'échelle est le rapport entre une distance mesurée sur la carte et la même distance mesurée sur le terrain, dans les mêmes unités (**Legrois, 1996**). Cette notion d'échelle est identique dans les SIG lors d'une représentation graphique des éléments de l'espace géographique soit à l'écran, soit sur support papier (**Caloz et Collet, 2011**). Une grande échelle est l'échelle dont le rapport $1/x$ est élevé, ce qui veut dire x petit. La grande échelle n'intéresse que des territoires restreints. À l'inverse, une petite échelle correspond en général à des surfaces considérables (**Legrois, 1996**).

2.2.4.1. L'échelle numérique

L'échelle e d'une carte est le rapport entre une distance d sur la carte et la distance correspondante réelle D sur le terrain (**Vergely, 2010**).

$$e = d / D$$

2.2.4.2. L'échelle graphique

L'échelle d'une carte, d'une coupe, d'une figure, d'un dessin ou autre document peut aussi être donnée sous forme graphique : on trace un segment gradué, subdivisé en kilomètres, en hectomètres, ou moins encore pour une figure d'affleurement sur le terrain. Cette échelle graphique est recommandée pour les coupes géologiques car elle visualise immédiatement les dimensions (**Vergely, 2010**).

2.2.5. Les modèles de stockage de données

On distingue deux modèles de stockage, de gestion et de structuration des données géographiques qui déterminent le type de système d'information géographique (**Fig. 18**) : les SIG « raster » et les SIG « vecteur », l'un et l'autre mode de stockage et de gestion des données intégrant les données « raster » ou « vecteur » (**Tab. 4**). Chacun des deux systèmes de stockage de l'information géographique, produit, présente et gère les données numérisées sous la forme de pixels (pictures elements), le mode « raster », soit sous l'aspect de formes géométriques (segment de droite, point, etc.) rapportées à un plan vectoriel (x, y) (x, y, z lorsque l'on intègre la troisième dimension) (**Yeung et Brent Hall, 2007**). L'information

spatiale dans le SIG peut permettre le passage d'un mode vecteur a un mode raster et vice-versa (Verbyla, 2002).

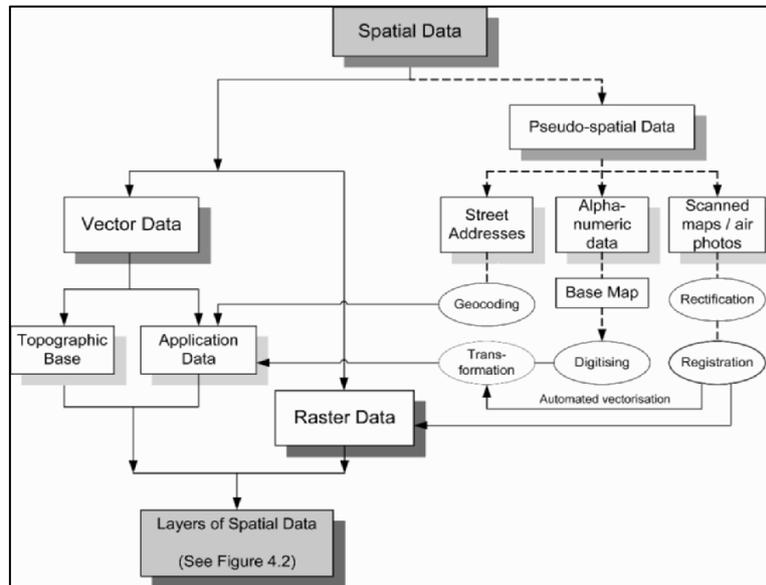


Figure 18. Types de données spatiales (Yeung et Brent Hall, 2007).

Tableau 4. Comparaison entre les structures vectorielles et matricielles des données spatiales (Andrew, 2017).

Mode Vectoriel	Mode Matriciel
Elément de représentation = Objet	Elément de représentation = Maille
Identification de l'objet avec précision	Précision dépend de la résolution
Structure topologique complexe : Relations de voisinage explicites Analyse de réseau	Topologie implicite Relation de connectivité entre les mailles
Espace mémoire réduit	Espace mémoire volumineux
Analyses spatiales limitées	Combinaisons illimitées des données
Document de sortie de qualité nette	Médiocrité de la qualité de sortie

2.2.5.1. Les données raster

L'un des types de données géo-spatiales est qualifié de donnée raster / matricielle, ou plus communément un (raster). Les formes les plus facilement reconnaissables de donnée raster sont les images satellites numériques ou les photos aériennes (Fig. 19,20 et 21). Les ombrages de pentes ou les modèles numériques de terrain sont également représentés en raster. Tout type de données cartographiques peut être représenté comme une donnée raster, mais il y a

des limitations. Un raster est une grille régulière qui se compose de cellules, ou, dans le cas de l'imagerie, de pixels, il y a un nombre déterminé de lignes et de colonnes où chaque cellule a une valeur numérique et une certaine taille géographique (Athan, 2010).

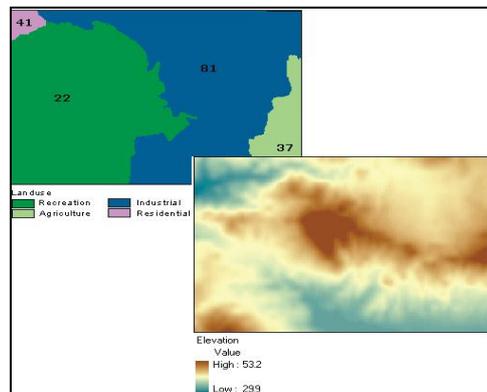


Figure 19. Carte d'altitude (Skidmore, 2003).

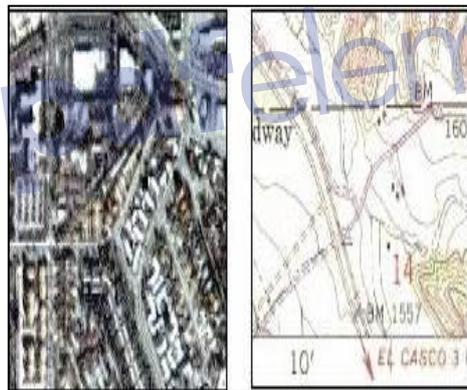


Figure 20. Photo aérienne et carte scannée (Skidmore, 2003).

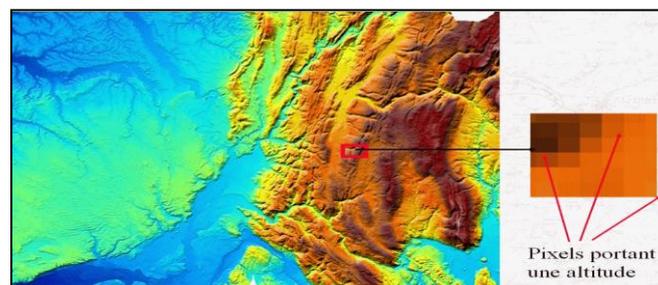


Figure 21. Donnée où l'espace est divisé de manière régulière (Skidmore, 2003).

2.2.5.2. La donnée vecteur

Selon Dénègre (2005), pour représenter les objets à la surface du globe, les SIG utilisent trois objets géométriques qui sont le point, la ligne et la surface (Fig. 22).

*Le point

L'objet le plus simple pouvant représenter à grande échelle des arbres, des bornes d'incendie, des collecteurs d'ordures, ... Mais à des échelles plus petites, de type carte routière au 1/1 000 000^{ème}, il représente une capitale régionale.

*La ligne

La ligne représente les réseaux de communication, d'énergie, hydrographiques, d'assainissement, etc. Elle peut être fictive, en représentant l'axe d'une route ou virtuelle en modélisant des flux d'information et d'argent.

*La surface

Elle peut matérialiser une entité abstraite comme la surface d'une commune ou des entités ayant une existence géographique comme une forêt, un lac, une zone bâtie, ect.

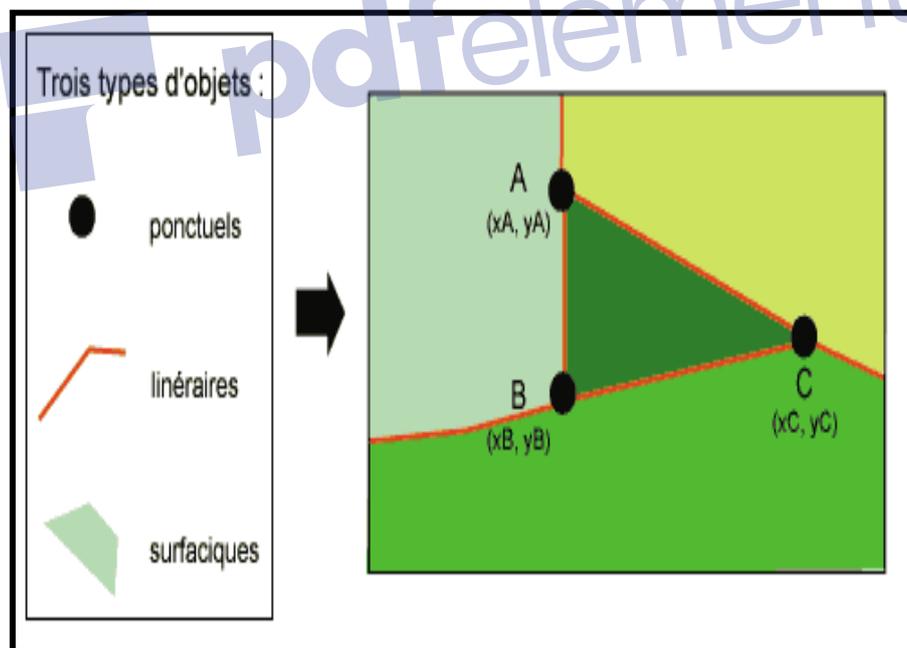


Figure 22. Les types de données vecteur (Longley et al., 2005).

2.2.6. La notion de couche

Dans la plupart des systèmes de traitement disponibles, les données sont organisées en couches selon les différentes catégories thématiques (**Fig. 23**), par exemple : formation végétale, Hydrologie et toponymie, la superposition de ces couches doit refléter les phénomènes et leurs relations aussi proches que possible de ce qui existe dans la réalité (**Rolf et de By, 2000**).

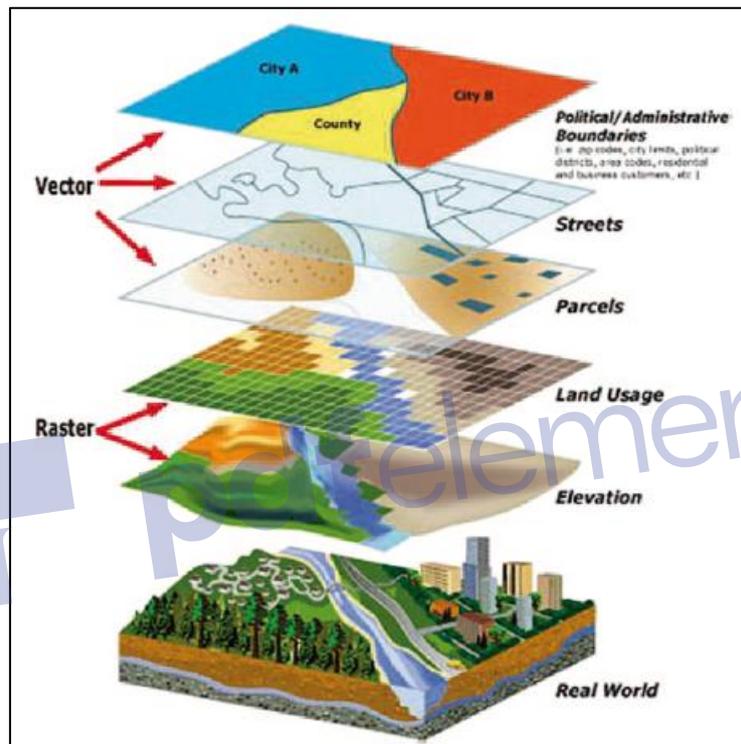


Figure 23. Notion de couche en SIG (Khorram et al., 2016).

2.2.7. Les cartes thématiques

Les différents thèmes, soit géologiques, courbes de niveau et réseau hydrographique, ont été numérisés sous mode vecteur à l'aide du SIG. Ils sont présentés sous forme de quatre cartes thématiques : pentes, géologie, réseau hydrographique (**Baccari et al., 2005**).

2.2.7.1. Le Modèle Numérique d'Altitude (MNA)

Le modèle numérique d'altitude (MNA) est une variable nécessaire à la caractérisation de l'état de dégradation des sols. La numérisation des courbes de niveau d'une carte

topographique à l'échelle de 1/200 000, avec une équidistance de 10 m, a permis de générer le MNA à une résolution spatiale de 30 m qui, par la suite, a été ré-échantillonnée à 15 m. À partir du MNA, nous avons extrait d'autres variables qui ont servi dans la modélisation de la dégradation du sol du bassin versant (**Chikhaoui et al., 2010**). Parmi ces variables :

2.2.7.1.1. La carte de pente

C'est la première dérivée du MNA. La carte des pentes est obtenue après traitement du MNA selon la méthode TIN à l'aide du SIG (**Baccari et al., 2005**). Elle représente un paramètre important dans l'étude et la caractérisation de l'état de dégradation du sol. Une pente forte accélère le ruissellement, par conséquent, la vulnérabilité du sol à l'érosion augmente (**Chikhaoui et al., 2010**).

2.2.7.1.2. L'exposition de la pente

Elle représente également la première dérivée du MNA permettant de définir la direction des flux. En ce qui concerne le bassin méditerranéen, cette variable joue un rôle important dans la cartographie des types de sol. De plus, elle est fortement corrélée au taux de recouvrement de la végétation, celle exposée au Sud étant caractérisée par un taux de couverture végétal faible. Les valeurs de l'orientation de la pente sont comprises entre 0 et 360°. La valeur 0 indique une orientation Nord (**Chikhaoui et al., 2010**).

2.2.7.2. La carte géologique

La carte géologique est indispensable pour toute étude préliminaire des projets d'aménagement. Elle illustre la répartition spatiale des différentes unités lithologiques (**Baccari et al., 2005**).

2.2.7.3. La carte pédologique

Une carte pédologique est un document en deux dimensions, présenté sur du papier ou sur différents autres types de supports, et fournissant avec un coefficient de réduction élevé, une image simplifiée de l'organisation spatiale des sols dans le milieu naturel (**Legrois, 1996**).

2.2.7.4. La carte du réseau hydrographique

Cette carte permet de déterminer la répartition des cours d'eau ; Barrages d'eau, oueds..., et la densité de drainage relative aux différentes unités lithologiques. Elle est très intéressante pour l'élaboration des plans d'aménagement hydraulique, par exemple pour la réalisation de petits barrages collinaires ou pour des seuils déversoirs au niveau des voies d'eau (**Baccari et al., 2005**).

2.2.8. La métadonnée

Les métadonnées sont des données servant à décrire des ressources électroniques. Tout comme des notices cartographiques de bibliothèque, elles permettent un repérage de l'information en utilisant une structure régissant la description des documents dont elles sont dérivées. Elles permettent un repérage très fin des unités d'information par des moteurs de recherche (**Mas et al., 2003**).

2.2.9. La base de données

Une base de données (BD) représente un ensemble de données d'une entreprise (ou d'une organisation) mémorisé par un ordinateur qui est utilisé par de nombreuses personnes et dont l'organisation est régie par un modèle de données (**Graïne, 2003**).

2.2.10. Le système de gestion des bases de données (SGBD)

Un SGBD est un logiciel qui permet aux utilisateurs de définir, créer et maintenir une base de données, et qui fournit un accès contrôlé aux données. Les avantages de l'utilisation d'un SGBD sont de, (i) conserver correctement les données, (ii) fournir l'accès aux données et, (iii) maintenir la sécurité des données (**Graïne, 2003**).

2.2.11. Les modèles des données

Un modèle de données est un moyen d'expliquer la disposition logique des données et les relations entre les différentes parties de chaque élément de l'ensemble (**Graïne, 2003**).

2.2.11.1. Le modèle relationnel

Le modèle relationnel a été décrit dans les années 70. Dans un SGBD relationnel (SGBDR), les données se trouvent dans des tables ou relations. Ces SGBD sont par

conséquent beaucoup plus flexibles et faciles à utiliser, car l'accès à pratiquement chaque élément est plus rapide que dans les autres modèles. C'est pour cette raison qu'ils constituent actuellement le nouveau standard (Graïne, 2003).

2.2.12. Le langage SQL (Structured Query Language)

Il existe plusieurs langages dits assertionnels permettant de manipuler les bases de données relationnelles. Ces langages utilisent des critères de recherche, également appelés quantifications, construits à partir de la logique des prédicats du premier ordre. Ils comportent quatre opérations de base (Graïne, 2003):

* la recherche (SELECT en SQL), l'insertion (INSERT en SQL), La suppression (DELETE en SQL), la modification (UPDATE en SQL). Le langage assertionnel SQL fut introduit commercialement tout d'abord par IBM en 1982. Aujourd'hui, ce langage est normalisé par l'ISO (International Standard Organisation) et constitue le standard d'accès aux bases de données relationnelles (Graïne, 2003).

2.2.13. Les composantes d'un SIG

Le SIG exige six composantes clés pour fonctionner en ensemble (Thierno, 2008 ; Dénègre et Salgé, 2004) :

* le réseau.

* le matériel : Un ordinateur.

* le logiciel : Il doit permettre de travailler sur des informations géographiques, intégrer un système de gestion de base de données, permettre de faire des analyses et de visualiser l'information avec une interface graphique (agréable) pour l'utilisateur.

* les données : géographiques et tabulaires.

* les utilisateurs : exploitation et développement de l'outil.

* les méthodes : variables suivant le type d'organisation.

2.2.14. L'analyse spatiale

L'analyse spatiale est un ensemble de techniques ou de méthodes qui peuvent être appliquées aux données spatiales brutes et peuvent fournir l'information la plus utile pour répondre à des questions ou pour expliquer les processus d'un phénomène réel. Bien que

l'analyse spatiale puisse être appliquée à n'importe quelles données spatiales, dans n'importe quel espace (Kasccaenuppakarn et al., 2010).

2.2.14.1. La manipulation des données spatiales

La fonction de manipulation des données spatiales contient un certain nombre de méthodes, techniques et algorithmes qui convertissent les données spatiales choisies à une nouvelle forme intelligente de données. Les fonctions de base de la manipulation de données peuvent être divisées en cinq catégories (Tab. 5) : proximité (Proximity), création de tampons (Buffering), l'analyse en superposition (Overlay), analyse de réseaux (Network) et l'interprétation spatiale (spatial interpolation) (Kasccaenuppakarn et al., 2010).

Tableau 5. Les catégories de fonctions de manipulation des données et échantillons de méthodes (Kasccaenuppakarn et al., 2010)

Types	Description	Exemple d'opération/ Méthodes/ Algorithmes
Proximité	Analyse la situation des entités les plus proches en mesurant la distance de chaque paire d'elles.	Mesure de distance, le voisin le plus proche, diagrammes de Voroni.
Création de tampons	Création d'une zone d'intérêt autour d'une entité ou d'un ensemble d'entités.	Tampon, tampon bidirectionnel, reculs, tampon causatif, tampon mesurable
L'analyse en superposition	Superposition de deux couches de carte thématique différentes ou plus de la même région (zone) pour former une nouvelle couche.	Données vecteur : point-dans-polygone, ligne-dans-polygone et analyse de superposition en utilisant des opérations spatiale ; comme le système orienté, les opérations topologiques (par exemple : rencontres (rassemblements), chevauchements, est à l'intérieur, les couvertures disjoignent, contact). Données raster : La Superposition en utilisant l'arithmétique (+, -, ×, ÷, exponentiel, sin, cos, tan), opérations logiques (=, >, <, ≥, ≤,

		< >, Booléen (et, ou, ni, pas)
Analyse de réseau	Identifier les routes optimales ou efficaces d'un modèle de réseau.	Le chemin de moindre coût, connectivité, allocation de ressource.
Interpolation spatiale	Estimer les attributs inconnus des endroits observés à partir des attributs connus des endroits multiples autour des endroits observés. Principalement, être logique (avoir un sens) avec des données de terrain.	Polygones de Thiessen, interpolation TIN, l'interpolation IDW, l'interpolation de Kriging, estimation de densité.

2.2.15. Une approche de trois points pour les responsables d'application de SIG

Nous recommandons une approche de trois points pour l'application de SIG efficacement afin de maximiser les fonctions de la technologie. Les utilisateurs du SIG doivent développer les trois attributs suivants :

- L'expertise substantive dans l'application dans lequel SIG doit être utilisé.
- La connaissance de la technologie de SIG.
- La connaissance des principales géographiques et cartographiques, au moins en forme rudimentaire (Nancy et al., 2008).

2.2.16. Les rôles de SIG

Selon Ashok (2008), les rôles de SIG sont :

- ***abstraction** : modélisation de la base de données en définissant les objets, leurs attributs et leurs relations.
- ***acquisition** : alimentation du SIG en données. Il faut d'une part définir la forme des objets géographiques et d'autre part leurs attributs et relations.
- ***archivage** : transfert des données de l'espace de travail vers l'espace d'archivage (disque dur).
- ***analyse** : réponse aux questions posées.
- ***affichage** : production des cartes de façon automatique.

2.2.17. Les domaines d'application de SIG

Le développement des systèmes d'information géographique (SIG) a débuté vers 1980, en relation directe avec les performances de l'informatique. Il s'accélère actuellement et une

très forte croissance est à prévoir au cours de cette décennie (**Brabant, 1993**). Le SIG touche pratiquement la plupart des domaines et résout des problématiques de plus en plus complexes. Ainsi, nous entendons parler des SIG en :

- ***urbanisme** : gestion des plans d'occupation du sol, voirie, réseaux d'assainissement.
- ***études économiques et socio-économiques** : population, emploi, logement, production et services.
- ***géomarketing** : localisation des clients, analyse du site, présence de consommateurs potentiels d'un produit ou d'un service dans une région, suivi d'expédition de parquets visualisés sur des cartes.
- ***tourisme** : gestion des infrastructures, itinéraires touristiques.
- ***télécoms** : implantation d'antennes pour les téléphones mobiles.
- ***réseaux de communication** : électricité, eau, routes, fleuves, réseaux, souterrains.
- ***réseaux de transport** : planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires, la fourniture d'itinéraires sur internet, les assistants à la conduite automobile.
- ***protection civile** : gestion et prévention de catastrophes.
- ***hydrologie** : fleuves, oueds, nappes, barrages et stations.
- ***forêt** : il permet aux gestionnaires d'avoir une approche globale et synthétique des problèmes liés à la dégradation du milieu par la modélisation topographique et thématique (pression humaine) et de proposer des solutions d'aménagement (**M. I. H. I., 2012**).
- ***science de la terre** : Géologie, géodésie, pédologie, géotechnique (**Laffly, 1997; Benguerai et Benabdeli, 2009**).
- ***biologie** : étude du déplacement des populations animales (**Oudjet et Rabia, 2008**).

2.3. La Télédétection

2.3.1. La définition

Selon **Bariou (1978)**, la télédétection est définie comme étant l'ensemble des méthodes de mesures d'informations à distance par l'intermédiaire du rayonnement électromagnétique émis, réfléchi ou diffracté par les objets observés (**Fig. 24**) . Il s'agit également de l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci (**Girard et Girard, 1989**).

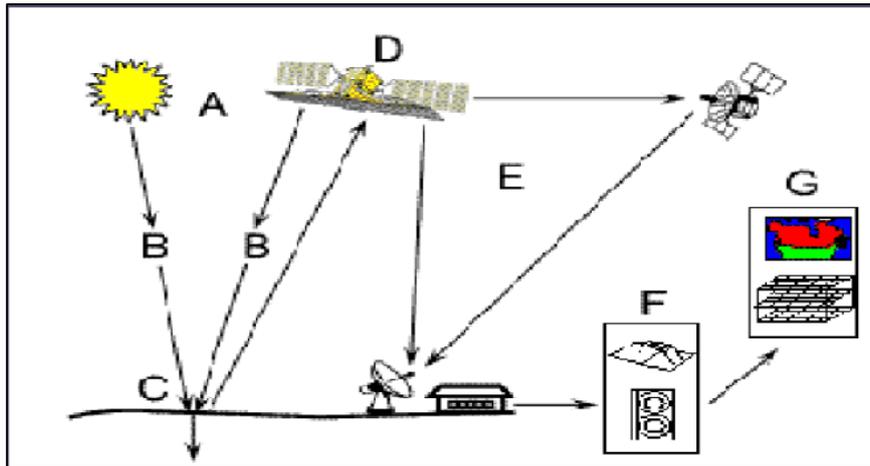


Figure 24. Processus d'acquisition d'images - Source d'énergie ou d'illumination (A)- À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible (- Rayonnement et atmosphère (B)- Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.- Interaction avec la cible (C)- Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. - Transmission, Réception et traitement(E)- L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques). - Interprétation et analyse (F)-Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée et ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir la cible. - Application (G)- La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l' »image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier (Tébourbi, 2006).

2.3.2. Les grandes familles de satellites

Les satellites artificiels de la Terre peuvent être classés selon leur vocation : nous nous intéresserons à ceux chargés de l'observation des ressources terrestres (Landsat, SPOT) et à ceux dont le but est l'environnement et la météorologie (Meteosat, NOM). C'est en effet pour la météorologie qu'ont d'abord été utilisés les satellites d'observation : satellites à défilement jusqu'en 1966, auxquels se sont joints ensuite les satellites géostationnaires (Cazaux, 1990). Nous devons, en outre, distinguer les satellites d'après leurs caractères astronomiques car ceux-ci influent sur leurs facultés d'observation, lesquelles dépendent des divers types de capteurs embarqués à leur bord. Deux grandes catégories de satellites artificiels de la Terre correspondent à des caractéristiques astronomiques différentes (Cazaux, 1990).

2.3.2.1. Les satellites géostationnaires

Les satellites géostationnaires apparaissent comme immobiles au-dessus d'un point de la Terre (Fig. 25) . Pour cela, ils doivent avoir une vitesse angulaire égale 8 fois celle de la

rotation de la Terre et décrire dans le même sens une orbite circulaire dans un plan équatorial (Cazaux, 1990).

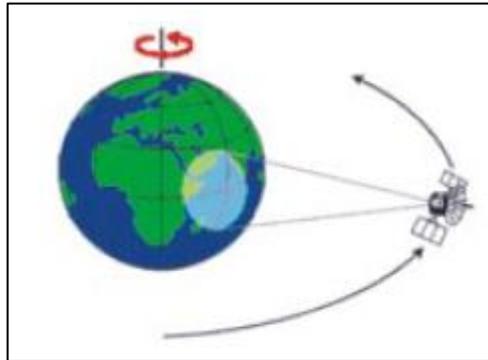


Figure 25. satellite géostationnaire (Sivakumar et al., 2004).

2.3.2.2. Les satellites à défilement

Les satellites à défilement (orbite polaire) à la différence des précédents, ne demeurent pas au-dessus du même point de la Terre (Fig. 26), mais se déplacent à une vitesse d'environ 7 km/seconde par rapport à la surface terrestre qui défile au-dessous d'eux (Cazaux, 1990).

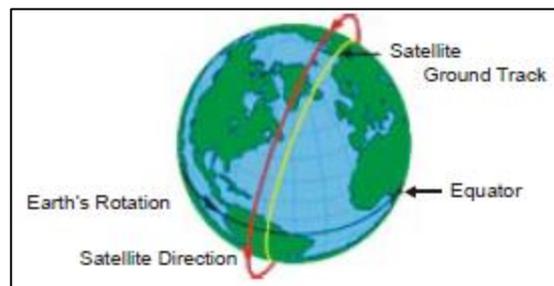


Figure 26. Satellite à défilement (Orbite polaire) (Sivakumar et al., 2004).

2.3.3. Les capteurs

Ce sont des instruments de mesure permettant d'acquérir et d'enregistrer des données sur les objets observés à la surface de la Terre, dans une ou plusieurs longueurs d'onde données, puis de les retransmettre vers un système de réception. Il y a des capteurs passifs qui enregistrent uniquement l'énergie solaire réfléchie ou le rayonnement propre émis par les

objets et des capteurs actifs qui ont à la fois un rôle d'émission et de réception de l'énergie réfléchi par la cible. Selon **Begni et al., (2005)**, les capteurs sont caractérisés par :

***la résolution spatiale** : elle correspond à la dimension du plus petit élément (Pixel) discernable à la surface terrestre. Elle est intrinsèquement liée à la notion de détails qu'il est possible de discriminer dans une image de télédétection.

***la résolution spectrale** : nature des bandes spectrales dans lesquelles se feront les mesures (nombre et position dans le spectre).

***la fauchée** : surface observée au sol (scène visée).

Du fait de leur altitude élevée (36 000 km), les capteurs des satellites géostationnaires observant de larges surfaces ne sont pas en mesure de fournir des images détaillées de notre planète, au contraire des capteurs embarqués sur des satellites en orbite plus basse (par exemple les satellites héliosynchrones, altitude de 750 km à 900 km) fournissent des images détaillées mais sur des régions plus petites (**Begni et al., 2005**).

2.3.4. La détection passive et active

2.3.4.1. La détection passive

L'énergie du Soleil (Source d'énergie ou de rayonnement pratique pour la télédétection), est soit réfléchi (La portion visible) ou absorbée et retransmise (infrarouge thermique) par la cible. Les dispositifs de télédétection qui mesurent l'énergie disponible naturellement sont des capteurs passifs. Le capteur passif peut seulement percevoir l'énergie réfléchi lorsque le Soleil illumine la Terre (**Fig. 27**). Il n'y a donc pas d'énergie solaire réfléchi le soir, tandis que l'énergie dégagée naturellement (L'infrarouge thermique) peut être perçue le jour ou la nuit. Un capteur actif produit sa propre énergie pour illuminer la cible : il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur (**Alexander, 2005 ; Köhl et al., 2006**).

2.3.4.2. La détection active

Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Les capteurs actifs utilisent les longueurs d'onde qui ne sont pas produites en quantité suffisante par le Soleil telles que, les hyperfréquences ou pour mieux contrôler la façon dont une cible est illuminée (**Fig. 27**). Par contre, les capteurs actifs doivent produire une énorme quantité d'énergie pour bien illuminer une cible. Le laser fluoromètre et

le radar à synthèse d'ouverture (RSO) sont des exemples de capteurs actifs (Köhl et al., 2006).

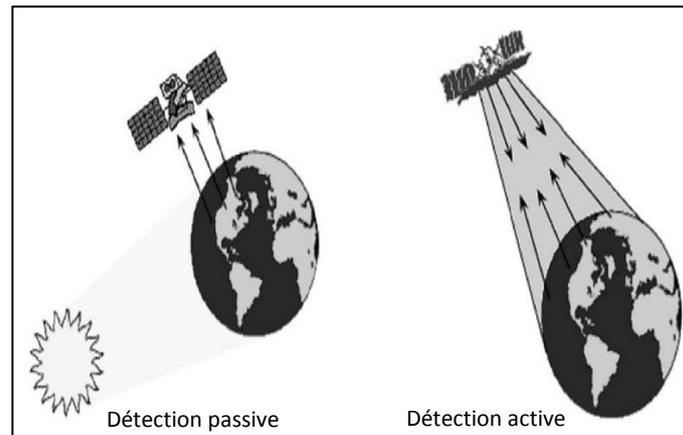


Figure 27. Détection passive et active (Köhl et al., 2006).

2.3.5. Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est une forme de propagation de l'énergie dans la nature, dont la forme qui nous est la plus familière est la lumière visible telle que la perçoit l'œil humain (Kergormad, 2009).

2.3.6. Les ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique correspond à la vibration simultanée dans l'espace d'un champ électrique et d'un champ magnétique (Fig. 28). Une onde électromagnétique est une onde progressive et transversale. Le sens de la variation des champs est perpendiculaire à la direction de propagation (Kergormad, 2009).

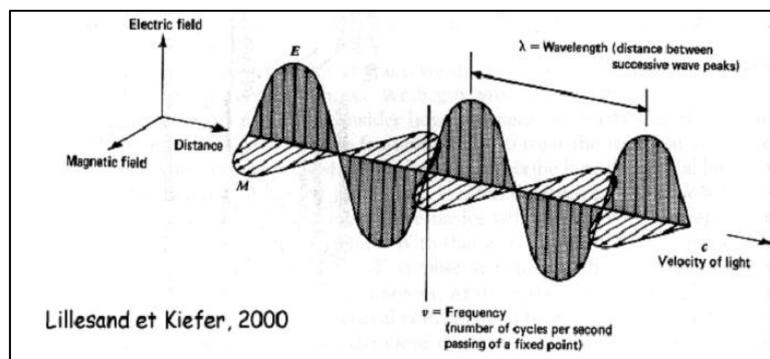


Figure 28. L'onde électromagnétique simple (monochromatique, plane) (Kergormad, 2009).

Elle se caractérise par la période T: c'est le temps au bout duquel le champ électrique ou magnétique retrouve sa valeur à partir d'un instant quelconque, c'est à dire effectue un cycle. L'unité est la seconde.

- la fréquence, désignée par la lettre ν : c'est le nombre de cycles par unité de temps.

L'unité de fréquence est le Herz (Hz). Un Hz équivaut à un cycle par seconde. Les ondes utilisées en télédétection se caractérisent par des fréquences très élevées mesurées en multiples du Hz (kHz, MHz ou GHz –gigaHerz).

-La longueur d'onde ou amplitude λ : elle est exprimée par une unité de longueur, le mètre ou ses sous-multiples, en particulier : le micron ou micromètre : μm . $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$ et le nanomètre : nm. $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$

Entre la longueur d'onde et la fréquence existe la relation classique: $\lambda \cdot \nu = c$

où c est la vitesse de propagation du rayonnement dans le vide (vitesse de la lumière):

$$c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

2.3.7. Le rayonnement et l'énergie

Le rayonnement électromagnétique est une forme de transport d'énergie. Une onde électromagnétique transporte l'énergie non pas de façon continue, mais de façon discrète (au sens mathématique du terme), par entités élémentaires ou *quanta* d'énergie. Ces quanta d'énergie peuvent être assimilés à des particules, et sont parfois appelés des *photons*. La quantité d'énergie associée à un photon dépend de la fréquence : $E = h \cdot \nu$ où E est la quantité d'énergie, ν la fréquence et h la constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Les rayonnements de fréquence élevée ou de courte longueur d'onde (ultraviolet, lumière visible) transportent ainsi beaucoup plus d'énergie que les rayonnements de grande longueur d'onde (infrarouge, micro-ondes). C'est l'énergie transportée par le rayonnement électromagnétique qui est détectée par les capteurs utilisés en télédétection (**Kergormad, 2009**).

2.3.8. Le spectre électromagnétique

D'après (**Weng, 2010**), tout le Rayonnement Electromagnétique (REM) peut être décomposé en ondes sinusoïdales élémentaires qu'on appelle composantes spectrales du rayonnement. Les longueurs d'onde sont données par la figure suivante (**Fig. 29**).

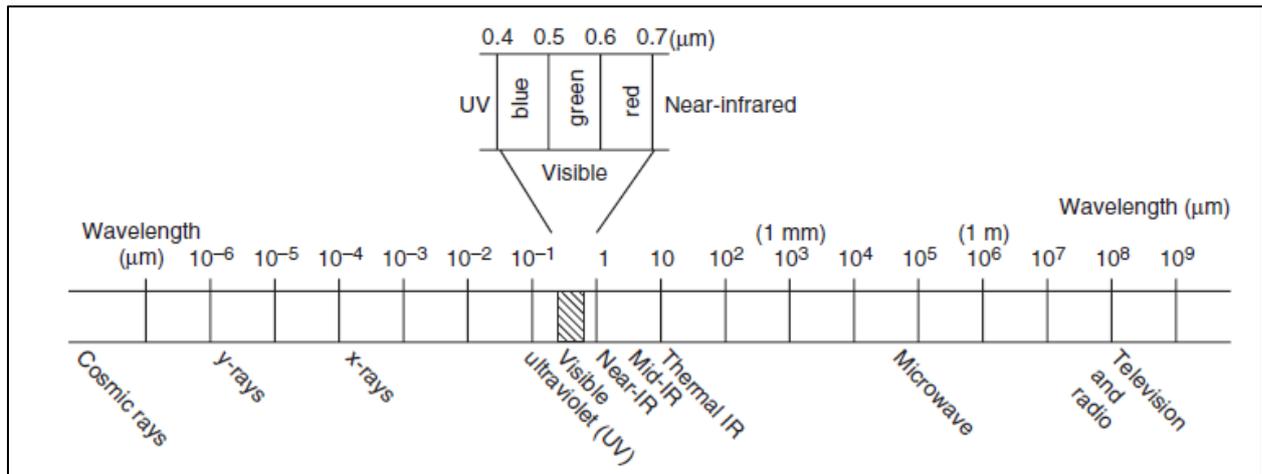


Figure 29. Les principales divisions du spectre électromagnétique (Weng, 2010).

2.3.9. Les interactions du Rayonnement Electromagnétique (REM) avec la matière

Le Rayonnement Electromagnétique (REM) non absorbé ou diffusé par l'atmosphère atteint la surface de la Terre. Il est alors absorbé, réfléchi ou transmis. La proportion de ces interactions dépend de la longueur d'onde et de la nature des surfaces), les différentes interactions des OEM avec la matière sont données par la Fig. 30 (Sivakumar *et al.*, 2004).

* **Absorption** : tout corps recevant un Rayonnement Electromagnétique (REM) en absorbe une partie, ce qui entraîne la modification de ses caractéristiques (Ex. température). L'absorptance α est le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue.

* **Réflexion** : un corps recevant une énergie en réfléchit une portion. La réflectance ρ est le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie reçue.

Notion d'albédo :

Quand l'énergie reçue est de l'énergie solaire et quand il s'agit de corps terrestre, la réflexion est appelée albédo.

* **Transmission** : tout corps recevant un Rayonnement Electromagnétique (REM) en transmet une partie.

La transmittance τ est le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie reçue. Par exemple un objet transparent a une forte transmittance.

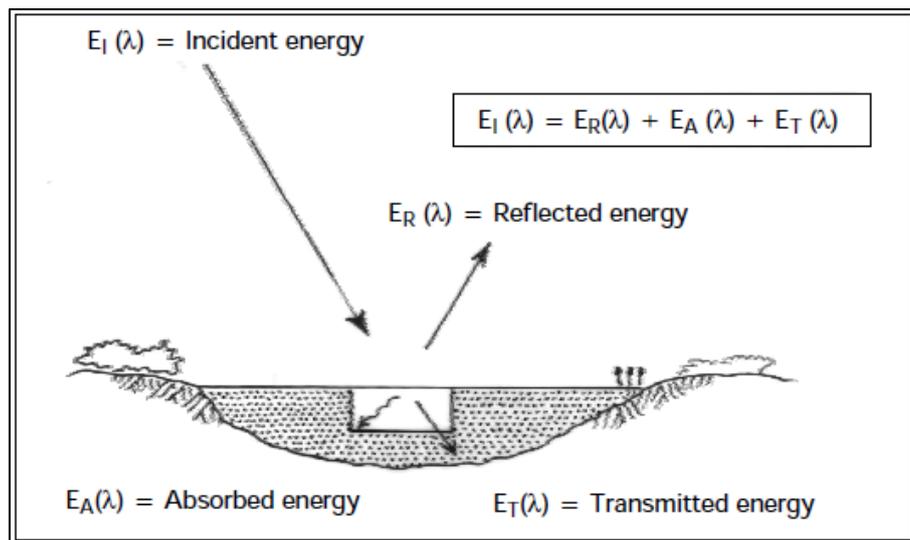


Figure 30. Interaction du Rayonnement Electromagnétique (REM) avec la matière (Sivakumar et al., 2004).

2.3.10. Les signatures spectrales

Selon Navulur, K. (2006), la notion de signature est à la base de la télédétection car elle permet de discerner entre les différents objets vu qu'ils ont des propriétés différentes affectant leurs signatures. Le phénomène prépondérant dans le visible et le proche infrarouge est la réflexion dans l'infrarouge thermique et les hyperfréquences : l'émission naturelle des objets. Les surfaces qu'on rencontre en télédétection peuvent être regroupées en trois ensembles (**Fig. 31**) : surfaces minérales (roches, sols, routes, etc.), surfaces végétales et surfaces aquatiques.

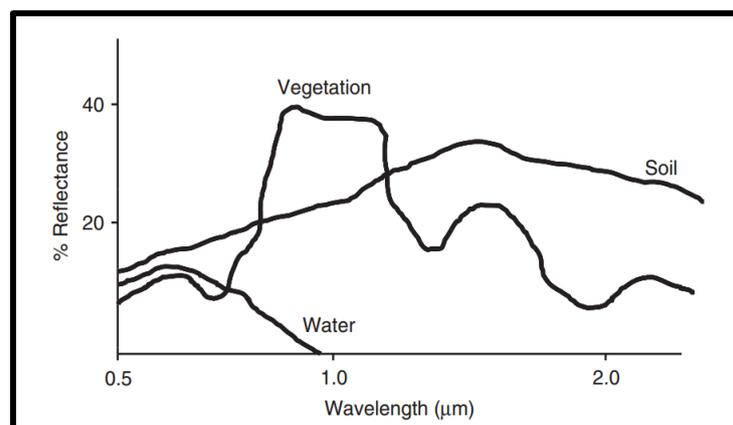


Figure 31. Signature spectrale de l'eau, de la végétation et du sol (Weng, 2010).

2.3.11. La notion d'image en Télédétection

Il est important en télédétection de distinguer les termes "image" et "photographie". Une image est une représentation graphique, quelle que soit la longueur d'onde ou le dispositif de télédétection qui a été utilisé pour capter et enregistrer l'énergie électromagnétique (**Fig. 32**). Une photographie désigne spécifiquement toute image captée et enregistrée sur une pellicule photographique. Avec ces définitions, nous constatons que toute photographie est une image, mais que les images ne sont pas toutes des photographies (**CCT., 2005**). Une photographie peut être présentée et affichée en format numérique en divisant l'image en petits morceaux de taille et de forme égale, que nous nommons pixels. La luminosité de chaque pixel est représentée par une valeur numérique (**CCT., 2005**).

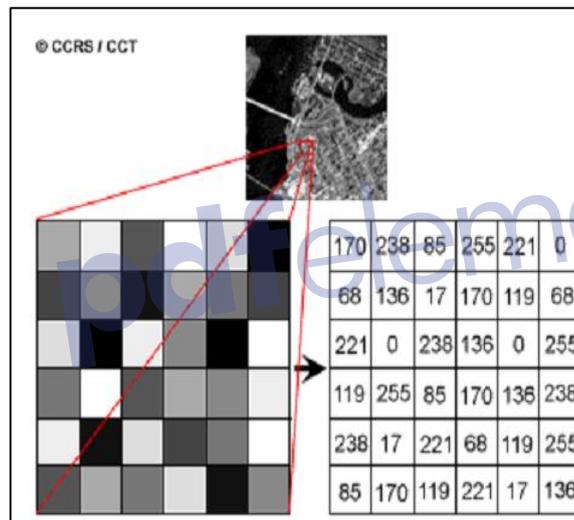


Figure 32. L'image en télédétection (**CCT., 2005**).

2.3.12. L'évolution des satellites de Landsat

Dès 1972, avec le lancement spatial du satellite Landsat MSS (Multi-Spectral Scanner), les possibilités de la télédétection spatiale sont apparues, mais jusqu'à la mise en orbite des satellites de deuxième génération (**Fig. 33, Tab. 6**). Landsat TM et Spot stéréoscopique, cette technique n'a été que peu utilisée (**Scanvic, 1995**).

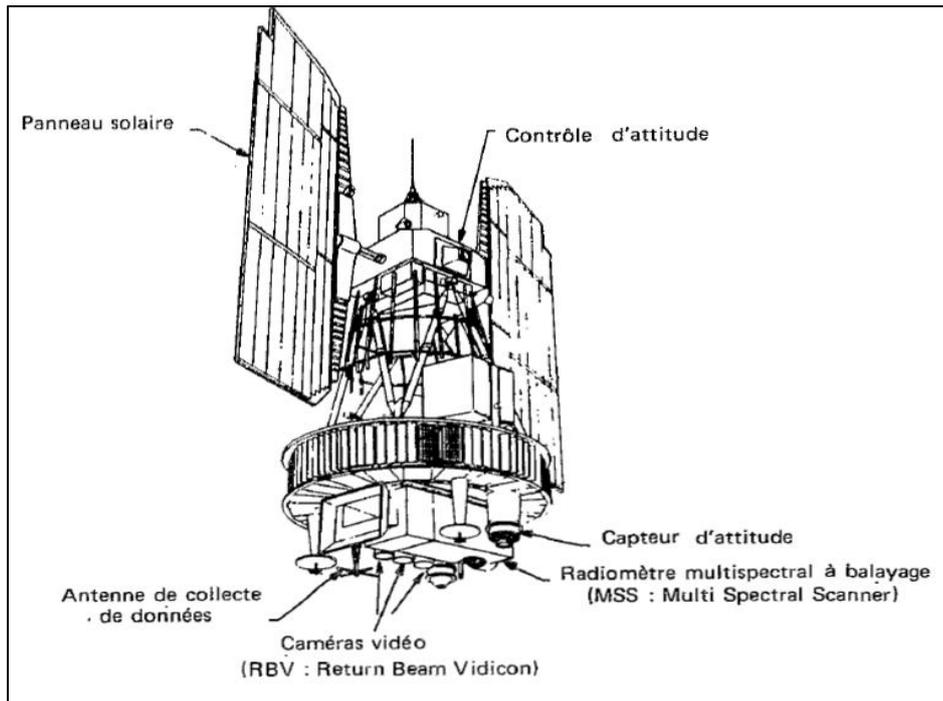


Figure 33. Landsat1: satellite (ORSTM., 1977).

Tableau 6. Landsat Multispectral Scanner (MSS) (USGS., 2014)

Multispectral Scanner (MSS)	Landsat 1-3	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 4	Band 1	0.5-0.6	60
	Band 5	Band 2	0.6-0.7	60
	Band 6	Band 3	0.7-0.8	60
	Band 7	Band 4	0.8-1.1	60

Les Landsat 4 et 5, lancés respectivement en 1982 et 1984, toujours en opération actuellement, abritent aussi l'instrument TM (Thematic Mapper) (Tab. 7). Ce nouvel instrument amélioré présente une résolution spatiale de 30m, et offre surtout sept canaux avec d'étroites bandes spectrales, allant du bleu à l'infrarouge thermique (Pain- Orcet et al., 1998).

Tableau 7. Landsat Thematic Mapper (TM) (USGS., 2014)

Thematic Mapper (TM)	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.76-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7	2.08-2.35	30

Le Landsat 6, lancé le 5 octobre 1993, s'est écrasé en mer lors du lancement (**Pain-Orcet et al., 1998**). Le Landsat 7 a été lancé avec succès le 15 avril 1999 et fournit jusqu'à ce jour des données. Ce satellite offre une couverture mondiale avec des images de 15 mètres de résolution en mode panchromatique, et 30 mètres en mode multi-spectrale (**Tab. 8**). En Mai 2003, le capteur ETM+ a souffert d'un échec dans le mécanisme de SLC (Scan line corrector). Le ETM+ a continué à acquérir des données avec SLC-off ou inactif. En conséquence, des trous linéaires apparaissent en provoquant une perte de 22 % des données de chaque image reçue (**Le moigne et Nathan, 2011**).

Tableau 8. Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) (USGS., 2014)

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Landsat 7	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.77-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	60 * (30)
	Band 7	2.09-2.35	30
	Band 8	.52-.90	15

La série de Landsat (plus de 40 ans) a continué avec la réussite du lancement du 11 février 2013 de Landsat 8 à partir de la base aérienne de Vandenberg en Californie (**Tab. 9**). Ce nouvel observatoire de Landsat a été développé à travers une association entre les agences de l'aéronautique nationale et l'administration spatiale (NASA) et le USGS (Department of the Interior U.S. Geological Survey) (**Roy et al., 2014**).

Tableau 9. Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) et Thermal Infrared Sensor (TIRS) (Roy et al., 2014)

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

2.3.13. Les applications de l'imagerie satellitaire

Il ne faut pas confondre trois types très différents d'utilisation de l'imagerie satellitaire :

- * didactique, pour enseigner la géographie physique, surtout lorsqu'il s'agit de paysages n'ayant pas d'équivalent en Europe. Aussi, pour illustrer ou valoriser une étude faite par d'autres moyens.

- * pour une exploration préliminaire, en vue de guider les études sur le terrain, ou pour compléter une étude lacunaire, lorsqu'on a à dresser une carte géologique, par exemple.

- * pour une étude menée principalement par des moyens satellitaires, par exemple l'étude des systèmes nuageux, du vent sur les océans, de la glace de mer, de la déforestation et de l'érosion des sols sur une vaste région, ou pour une étude statistique de l'occupation des sols. Il aura alors suffi d'établir la réalité de terrain une fois pour toutes (**Liboutry, 1992**).

2.3.14. Le choix des bandes

Pour bien distinguer les différentes classes pendant un traitement, il est recommandé, dans un premier temps au moins, de choisir les couleurs de telle sorte que l'image, les pixels voisines appartenant à des groupes différents aient des couleurs très tranchées, c'est-à-dire soient bien contrastées. Cela permet de mieux détecter les limites entre groupes et donc de mieux prendre les décisions quant à la valeur, en compte numérique, de la coupure entre deux

groupes (**Girard et Girard, 1999**). Les études réalisées sur les dunes ont montré que les bandes spectrales Landsat sont très utiles pour détecter les caractéristiques de ces dunes. Ainsi, le quartz, minéral dominant dans ces massifs dunaires, a une haute réflectance dans les bandes 7, 5 et 4 (**Lekouch et al., 2010**).

2.3.15. La composition fausse couleur

Une composition fausse couleur avec des images de différentes années a permis de visualiser une grande part des changements survenus sur le territoire étudié, et qui se traduisent par la modification des valeurs radiométriques des pixels qui ont subi un changement à leur surface (**Desjardins et al., 2005**).

2.3.16. La classification d'image

Le processus de classification produit un zonage de l'image en classes spectrales qui reçoivent chacune une étiquette thématique. L'influence des transformations radiométriques est similaire à celle énoncée pour les rehaussements. Les corrections basées sur l'état de l'atmosphère n'ont pas d'influence sur les classifications dans la mesure où elles agissent globalement sur l'ensemble de la zone étudiée sans se référer à une classe particulière. Aucune information discriminante n'est apportée dans ce cas (**Fig. 34**). En revanche, les transformations tenant compte des effets du relief sont susceptibles de modifier les signatures de classes. Les classifications sont affectées dès lors que des informations nouvelles sont insérées dans l'image modifiant ainsi de pouvoir discriminant des signatures spectrales (**Caloz et Collet, 2011**). La classification des images satellitaires multispectrales implique, donc, l'identification et le regroupement statistique des pixels avec des valeurs numériques (DN) semblables et/ou l'orientation spatiale semblable des pixels dans les dispositifs géographiques significatifs (**Mesev, 2010**).

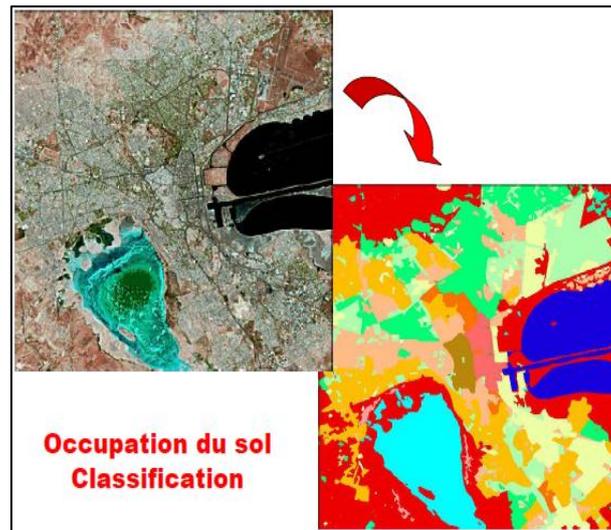


Figure 34. Classification d'image (Tébourbi, 2006).

2.3.17. Les interactions d'énergie dans les plantes

Tant que la réflexion sur la surface des objets lisses est simple, l'interaction de l'énergie dans les plantes est plus compliquée. La feuille de la plante se compose de trois couches (Fig.35) :

- l'épiderme transparent.
- le parenchyme palissadique, qui réfléchit la lumière verte et absorbe le rouge, en raison de son contenu de chlorophylle.
- le parenchyme lacuneux (spongieux), qui réfléchit le proche infrarouge (PIR) (Gottfried, 2003).

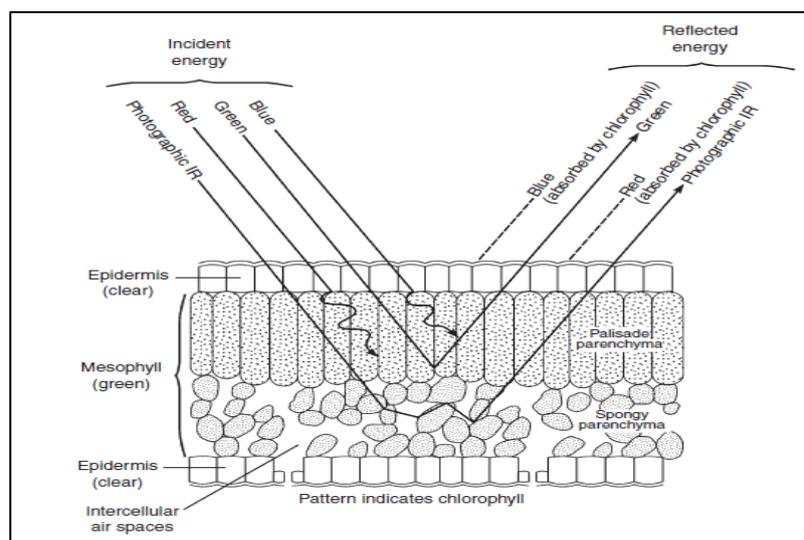


Figure 35. Coupe transversale d'une feuille (Gottfried, 2003).

2.3.18. Les indices de végétation

Les indices de végétations sont une autre famille commune des techniques employées pour surveiller le changement des conditions environnementales dans les environnements urbains. Les indices de végétation sont définis généralement sans dimension, des mesures radiométriques qui fonctionnent comme indicateurs de l'abondance et de l'activité relatives de la végétation verte, souvent comprenant l'indice feuille-surface, le pourcentage de la couverture, le contenu de chlorophylle et la biomasse verte. Il y a plus de 20 indices de végétation en service dans la littérature (**Tab. 11**). Beaucoup sont fonctionnellement équivalents dans le contenu de l'information, tandis que certains fournissent des informations biophysiques uniques (**Maktav et Sumar, 2010**). Le développement de l'indice de végétation à partir des valeurs de réflectance spectrale est basé sur la différence de l'absorption et de la réflectance d'énergie pour la végétation dans le rouge et le proche infra-rouge du spectre électromagnétique (**Dessi et Hiang, 2009**). Plusieurs indices de végétation ont été formulés et utilisés pour surveiller le changement de végétation. De ces indices de végétation, NDVI a été appliqué le plus largement pour surveiller la dynamique terrestre de végétation.

Tableau 11. Les principaux indices de végétation les plus couramment utilisés PIR : Proche infrarouge ;R : rouge ; V :vert ; B :bleu (**Girard et Girard, 1999**)

Nom	Formule	Propriétés	Auteurs
Différence	$D = R - \text{PIR}$	Forte sensibilité aux variations atmosphériques	Monget (1980)
Ratio	$\text{RVI} = \text{PIR}/R$	Saturation aux forts indices, sensibilité à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques	Knippling et al, (1974) ; Viollier et al, (1985)
Indice de végétation normalisé	$\text{NDVI} = (\text{PIR}-R)/(\text{PIR}+R)$	Sensibilité aux effets atmosphériques, gamme de variation plus faible que le précédent mais sensibilité aux variations angulaires de la visée, selon la position vis à vis du soleil (<i>hot Spot</i>)	Rouse et al, (1974) ; Tucker (1979)
Indice de végétation transformé	$\text{TVI} = \sqrt{\text{NDVI} + 0,5}$	Essai d'élimination des valeurs négatives, stabilisation de la variance	Deering et al, (1975)
Indice de végétation perpendiculaire	$\text{PVI} = a_1(\text{PIR}) - a_2(R) + \text{constante}$	Diminution de la contribution spectrale des sols mais sensibilité à diverses caractéristiques des sols	Richardson et Wieget (1977)
Chapeau à corne <i>Tassel cap</i>	Formule générale $a_1(V) + a_2(R) + a_3(\text{PIR}) + a_4(\text{PIR})$	Transformation orthogonale des 4 canaux pour réduire la sensibilité à la contribution spectrale des sols sans pouvoir l'éliminer complètement	Kauth et Thomas (1976)
Indice de verdure (issu du précédent)	$\text{GR4} = -b_1(V) - b_2(R) + b_3(\text{PIR}) + b_4(\text{PIR})$ Pour canaux MSS		Jackson (1983)

Indice de végétation ajusté au sol	$SAVI = [(1 + L)(PIR - R)] / (PIR + R + L)$ L = 0.5 pour réduire l'effet du sol	De nombreux indices sont issus de celui-ci pour minimiser l'effet du sol (TSAVI, MSAVI...)	Huete (1988)
Indice de végétation normalisé corrigé des effets atmosphériques	$ARVI = (PIR - RB) / (PIR + RB)$ Avec $RB = R - \gamma(B - R)$ γ fonction du type d'aérosols	Diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI mais sensible à la contribution spectrale des sols	Kaufman et Tanre (1992)

L'INDVI et les autres indices de végétation cartographient la couverture végétale comme une quantité continue (contrairement à une classe thématique), mais ces indices ne sont pas la bonne méthode pour cartographier la végétation dans la mosaïque urbaine, en raison de l'hétérogénéité de la distribution de la végétation urbaine. En plus de la difficulté en établissant un calibrage quantitatif entre l'abondance régionale de végétation et l'INDVI en dessous de l'échelle kilométrique (**Kwarteng et Small, 2010**).

2.3.19. Le Geographic Position System (GPS)

Un récepteur GPS, que l'on nomme couramment (GPS), est un appareil servant à calculer une position géographique à partir des signaux reçus des satellites GPS (**Correia, 2012**). Le GPS classique (dit Naturel) permet d'obtenir une position géographique dont la précision est très aléatoire car elle varie dans un rayon de 10-15 m. Nous ne pouvons donc l'utiliser que pour cartographier de larges zones (**Déguyot et al., 2012**). Le GPS est composé de 24 satellites autour de la terre à une distance de 20.000 kilomètres mesuré à partir du niveau moyen de la mer (**Doberstein, 2012**). Avec le GPS, les données sont rassemblées en format numérique en temps réel et post-traité (**El-Rabbany, 2002**).

2.3.20. Les domaines d'application de la Télédétection

Selon **Kergormad (2009)**, le premier grand domaine d'application de la télédétection a été :

***l'étude de l'atmosphère :** l'imagerie Météosat, le suivi du (trou d'ozone) sur l'antarctique et la climatologie des nuages.

***l'océanographie et les études littorales :** mesure des températures de surface de la mer, turbidité océanique en zone côtière, suivi du phénomène El-Niño par altimétrie radar et radiométrie thermique et mesure des vents sur l'océan par diffusiométrie radar.

***les applications terrestres :** suivi de la végétation à l'échelle planétaire, surveillance des catastrophes naturelles, la très haute résolution spatiale en milieu urbain et l'imagerie radar et la reconstruction du relief par interférométrie.

2.3.21. Les travaux de Télédétection concernant l'Algérie

Selon Abdellaoui (1989), ils peuvent être globalement classés en trois catégories (Tab.12, 13, et 14) :

Tableau 12. Projets initiés par des opérateurs économiques nationaux

Pays	Thèmes ou projets	Lancements ou planifications	Organismes initiateurs	Prestations de services
Algérie	-Inventaires forestiers.	(1976)	Agriculture	Canada.
	-Essaie de cartographie des zones alfatières (région de Saïda).	(1977)	Agriculture	SODETEC/France.
	-Reconnaissance des boisements.	(1978)	Agriculture	BADA/France.
	-Envasement des barrages.	—	Hydraulique	RDA
	-Inventaire et suivi des zones alfatières.	(1985)	Hydraulique	CNTS/Algérie.
	-Sensibilité à la désertification.	(1986)	Hydraulique	CNTS/Algérie

Tableau 13. Projets de recherche-formation ou de pré faisabilité

Pays	Thèmes ou projets	Lancements	Opérations initiateurs	Opérateurs étrangers associés.
Algérie	Formation :			
	-Traitement numérique d'image (classification, reconnaissance de forme).	1973	CSTN	—
	-Bilan d'énergie, paramètres de surface.	1981	CSTN	-GTS Strasbourg.
	-Radiométrie.	1979	CSTN	-Aucun.
	-Système d'analyse d'images.	1979	CSTN	-LAE Strasbourg.
	-Peuplement forestier.	1979	CSTN	-LCA Strasbourg.
	-Occupation du sol.	1979	CNERAT	-École de mines/France.

Tableau 14. Travaux réalisés par des équipes extra-maghrébines

Pays	Thèmes	Années	Auteurs	Organismes
Algérie	-Télédétection et analyse géographique par Landsat 2 : région de Annaba.	1981	Bardinet	-ENN. Paris, école des mines.
	- Inter comparaisons d'images MOM S-01, Landsat -TM et SIR-A.	1988	Jaskolla et al.	-Université de Munich ESA- ESTEC (Pays-Bas.).
	-Détection des sols salins.	1988	Daels et al.	-Université de Get.

2.3.22. La Télédétection et la désertification

Les techniques de télédétection spatiale permettent une vue d'ensemble de certains phénomènes terrestres (**Tab.15**). En outre, l'acquisition répétitive des informations facilite la vision dynamique des phénomènes observés, ce qui peut être parfois d'une extrême importance (**Gregoire, 1990**). Les techniques récentes, notamment l'utilisation des données satellitaires et la généralisation des méthodes informatiques, peuvent-elles avoir un impact sur la lutte contre la désertification ou sa mitigation ? Les données satellitaires et la télédétection constituent, en général, un outil des plus utiles et efficaces, moyennant certaines précautions dans l'évaluation et la surveillance continue des ressources de la Biosphère et donc de la désertification (**Le Houérou, 1993**). Pour lutter efficacement contre la désertification, il est essentiel de déterminer avec le maximum de précision possible l'étendue des zones affectées et de délimiter à l'intérieur de celles-ci les différents degrés de sensibilité. La télédétection joue un rôle essentiel et son utilisation dans ce domaine a permis des progrès considérables non seulement en matière de délimitation des unités de milieux divers mais également en matière de compréhension des facteurs agissants et de la dynamique de leur évolution. Les programmes d'analyse et les logiciels de traitement de données satellitaires font l'objet d'une recherche de pointe qui tend de plus en plus à se développer. Mais le coût des images satellitaires et du matériel de traitement en constitue la principale contrainte (**Akrimi, 1990**).

Tableau 15. Exemples des données satellitaires disponibles pour les études à long terme (Escadafal, 2007)

Satellite	Capteur	Résolution (max)	Disponibilité	Nb de bandes utilisées*	Type de données	Niveau de coût
NOAA	AVHRR	1 km	Accès web gratuit	2	RS	0
SPOT 4 et 5	VEGETATION (VGT)	1 km	Accès webgratuit	4	RS	0
NASA Landsat 1 à 3	MSS	80 m	Accès via USGS	4	CN	1
NASA Landsat 4 à 7	Thematic Mapper	30 m	Accès payant via USGS et NASA	6	CN	2
SPOT 1 à 5	HRV	20 m (5 m pour SPOT 5)	Accès payant via Spotimage	3, puis 4	CN	3

* pour le suivi de la désertification à long terme ; CN : comptes numériques ; RS : réflectance au sol.

2.3.23. Le SIG et la télédétection

La télédétection spatiale, s'appuyant sur des mesures au sol et combinée aux systèmes d'informations géographiques, apporte aujourd'hui une contribution décisive aux diverses questions qui se posent en matière d'environnement, de santé, d'aménagement du territoire et d'exploitation rationnelle des ressources naturelles (Labad et al., 2009). La télédétection et les SIG peuvent être des outils très complémentaires avec les méthodes conventionnelles utilisées dans la prévention et la gestion des catastrophes. Ces technologies sont d'autant plus utiles lorsqu'on dispose d'une connaissance détaillée du risque, la fréquence attendue, le caractère et l'intensité des événements dans une région. Les images satellitaires donnent une vue globale et fournissent des informations très utiles sur l'environnement, pour une grande gamme d'échelles, depuis les continents entiers jusqu'aux détails de quelques mètres (Belhadj-Aissa et al., 2003).

Chapitre III

Etude du Milieu

3.1. Le cadre géographique et administratif

La wilaya de Biskra est située à l'Est du pays, et plus exactement au Sud des Aurès qui constituent sa limite naturelle au Nord. Elle s'étend au Sud-Est jusqu'à la zone des Chotts (Chott Melghir) et au Sud-Ouest jusqu'au commencement du grand Erg oriental. D'une superficie de 22 379,95 km², la Wilaya de Biskra est limitée part (**ANAT., 2003 b**) : la Wilaya de Batna au Nord, la Wilaya de M'Sila au Nord-Ouest, Djelfa au Sud-Ouest, la Wilaya d'El Oued au Sud, et la Wilaya de Khenchela au Nord et à l'Est. Elle se situe dans une zone semi-aride à semi-désertique (**Fig. 36**). Pour la région d'étude, la principale chaîne montagneuse est celle des Aurès. Elle est caractérisée par un relief très accidenté, avec de fortes pentes dans le haut du versant. Le point culminant est situé sur le Djebel Chélia, qui a une altitude de 2 328 m.

La majorité des terres de la wilaya ont une grande étendue plate suivie d'une zone dépressionnaire, celle du Chott Melghir (**ANAT., 2003 b**). Créée après le découpage administratif de 1974, la wilaya de Biskra se composait de six (06) dairates et vingt-deux (22) communes. Avec le découpage administratif de 1984, elle s'est scindée en deux parties, donnant naissance à une nouvelle Wilaya (Wilaya d'El Oued) (**ANAT., 2003 b**). Depuis Mai 1984, la wilaya de Biskra se compose de trente-trois (33) communes et douze dairates, dont les Chefs-lieux sont : Tolga, Ouled Djellal, Sidi Okba, El Outaya, El Kaatara, Ourlai, M'chounèche, ZJEI Oued, Sidi Khaled, Foughala, Djemourah et Biskra (**ANAT., 2003 b**).

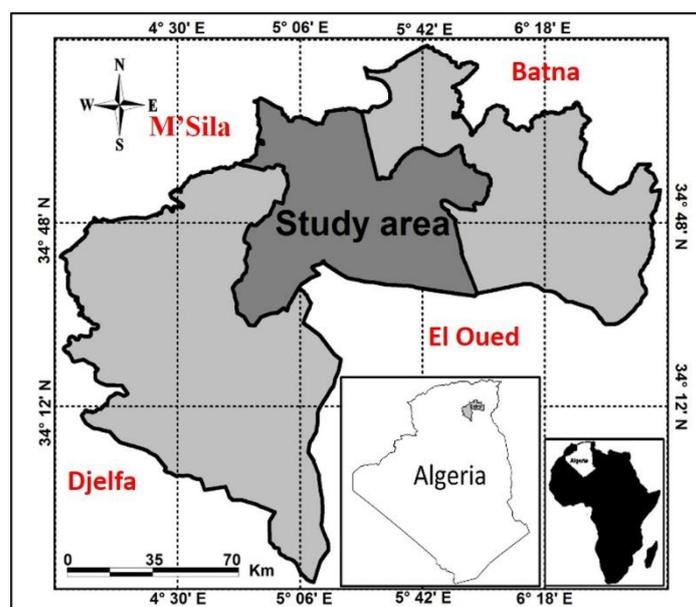


Figure 36. La zone d'étude.

3.2. La géologie

D'un point de vue géologique, la région de Biskra se présente comme un pays de transition structural et sédimentaire entre deux domaines : Atlasique au Nord et Saharien au Sud (**Bouziane et Labdi, 2009**). Les formations géologiques qui composent les sols de la wilaya sont des formations d'origine sédimentaire à prédominance de sédiments carbonatés. Les affleurements rocheux qui constituent les principaux reliefs de la wilaya, en l'occurrence les montagnes, situées à la limite Nord, sont des sédiments en grande majorité datant du secondaire. Les grandes plaines du Centre sont des sédiments du quaternaire, alors que les plateaux sont en grande partie composés de formations datant du Tertiaire (**ANAT., 2003 b**). Du point de vue lithologique, les principaux roches et sédiments qui composent le sol de la wilaya sont des alluvions argilo-sableux, des calcaires, des dolomies, des marnes, des argiles, des sables, des grès et des sels sédimentaires de Chott ou de sel diapirique (**ANAT., 2003 b**). Du point de vue tectonique, le Nord de la wilaya est affecté par le grand accident tectonique, connu sous le nom de « la flexure sud-atlasique », qui est une sorte de cassure séparant la partie Nord du pays (le Tell) de la zone effondrée désertique (le Sahara). Cet accident est caractérisé par la présence de multiples failles (tectonique cassante) et d'une structure souple et plissée (tectonique souple) (**ANAT., 2003 b**).

3.3. Les spécificités de la classification des sols d'oasis

Les sols d'oasis constituent un groupe particulier, qu'il est difficile de le rattacher globalement à la classification utilisée en Algérie. La classe des sols halomorphes illustre parfaitement cette particularité, en effet la teneur en sels relativement importante dans les sols des Oasis et ce, comparativement à ceux du Nord du pays, est inappropriée et à cet égard, est le plus souvent modifiée. Ce phénomène de salinisation qui affecte la majorité des sols du Sahara est associé dans la majorité des cas à une texture grossière (sableuse), ce qui accélère la migration (lessivage) des sels dans les sols (**Khadraoui, 2010**). Nous rencontrons différents types de terrains dans les palmeraies sahariennes et sahéliennes qui vont du sol léger (sableux, graveleux) au sol assez compact (limons argileux). Ce sont ensuite les sols alluviaux plus ou moins argileux et limoneux des terrasses bordant les Oueds des palmeraies du Présaharien (Oued Drga, Oued Ziz, Oued Biskra) (**Toutain, 1990**).

3.4. Les ressources en eaux dans la wilaya de Biskra

3.4.1. Les ressources en eaux superficielles

Les ressources en eau représentent l'une des principales richesses sur lesquelles repose toute action de développement économique et social. Les ressources en eau de surface sont omniprésentes dans la région d'étude et sont alimentées essentiellement par les principaux oueds, à savoir : Oued Djeddi, Oued Biskra, Oued El Arab, Oued El Abiod etc., qui se caractérisent par un écoulement intermittent. Lors des crues, ces oueds se jettent dans le Chott Melghir et ce par manque d'infrastructures destinées à la mobilisation de ces ressources : barrages (Foum El Gherza et Fontaines des Gazelles), les barrages d'inféro-flux, retenues collinaires, entraînant une grande perte pour une meilleure utilisation de cet élément essentiel à toute activité (ANAT., 2003 a).

3.4.2. Les ressources souterraines

La wilaya de Biskra présente plusieurs réservoirs aquifères d'importance bien distincte de par leur constitution lithologique, leur structure géologique et les facilités d'exploitation qu'ils présentent. Ces aquifères appartiennent aux étages suivants (ANAT., 2003 a) :

- Le Mio-Plio-Quaternaire (représenté par la nappe des sables et la nappe superficielle du Quaternaire).
- l'Eocène inférieur (nappe des calcaires).
- Le Sénonien supérieur (Maestrichtien).
- L'Albien et le Barrémien (nappe du continental intercalaire).

La wilaya de Biskra totalise 11.121 points d'eau, dont 7699 en service, 1846 à l'arrêt et 1576 abandonnés. Le volume d'eau soutiré est de 577 Hm³/an dont 508 Hm³/an sur destinés pour l'irrigation et 68 Hm³/an destinés pour l'alimentation en eau potable (ANAT., 2003 a).

3.5. La végétation dans la région de Biskra

La particularité des Ziban réside dans l'absence des forêts, même sur les reliefs, sinon quelques rares pins d'Alep isolés et rabougris, associés à des genévriers oxycèdres. La formation végétale la plus représentative reste la steppe qui se présente comme une formation basse et ouverte, laissant apparaître le sol à nu. La steppe développe quatre variétés dans les Ziban (ANAT., 2003 c).

3.5.1. Les steppes graminéennes

Ce sont des steppes à graminées pérennes, telles les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*), les steppes à sparte (*Lygeum spartum*) couvrant la partie occidentale de la plaine d'El Outaya, au Sud de bled El Mazouchia et surtout les glacis de versants Nord des djebels Ech Chegaig et Sahbana au Sud du Chott El Hodna (**Djebaili, 1978 ; Pouget, 1980**).

3.5.2. Les steppes arbrissaux ou chamaephytiques

Les touffes ne dépassent guère 50 cm de hauteur. Cette steppe est représentée par l'Armoise essentiellement (*Artemisia herba alba* et *Artemisia campestris*) et est bien répandue dans la plaine au Nord et au Nord-Ouest de M'Doukal (**Djebaili, 1978 ; Pouget, 1980**).

3.5.3. Les steppes crassulescentes

C'est la steppe halophile dominée par des espèces végétales charnues halophiles en relation avec des sols salés. Les espèces dominantes comprennent beaucoup de chenopodiacées, telles que l'*Atriplex*, *Salicornia*, *Sueda* etc. Ce type de steppe est caractéristique des bordures des sebkhas et des terrains chotteux avec une gradation sous forme d'auroles déterminées en fonction de la salure des terrains. Sur les sols salés, entre les dunes et la sebkha, la steppe à *Atriplex* est bien développée, ensuite viennent les salicornes. Sur les terrains les plus salés, juste en bordure de la sebkha, c'est le domaine de la steppe crassulescente, plus basse et dont les touffes de *Sueda* se tassent en coussinets (**Djebaili, 1978 ; Pouget, 1980**).

3.5.4. Les pseudo steppes arbustives à nanophanérophytes

Ce ne sont pas des steppes, mais plutôt des petites « forêts » d'arbustes de 1 à 4 mètres de haut, associés à des petits arbrisseaux parsemés entre les arbustes. Les espèces dominantes dans les Ziban, sont les Rtem (*Retama raetam*), les *Tamarix* (*Tamarix* spp.) qui couvrent la plaine d'épétage d'Oued Es Sereg au Nord de Bled Selga, dans la plaine d'El Outaya. Ces espèces se rencontrent dans des sites à bilan hydrique favorable : terrasses d'oued (Oued Ben Youssef au Nord de M'Doukal), zones d'épétage et recouvrement sableux (Oued Selsou, à bled El Madher dans la plaine d'El Outaya) (**Djebaili, 1978 ; Pouget, 1980**).

3.6. La dynamique de la production agricole dans la région de Biskra

Le Zab Gharbi (Ziban W) est une vieille région phoenicicole, irriguée traditionnellement par les sources jaillissant au pied des Monts du Zab, aujourd'hui par des forages (**Fig. 37**). Il présente deux lignes de palmeraies, dont l'une se situe au pied des massifs alors que l'autre se trouve à une dizaine de kilomètres à l'aval. Après la période de flottement des décennies 1960-70, l'agriculture a été relancée par deux programmes successifs : l'APFA en 1983, assurant l'accession à la propriété foncière à ceux qui mettent en valeur les terres ; le PNDA en 2000, assurant l'accession aux finances à ceux qui développent l'agriculture (généralement financement à fonds perdus par l'Etat à 70%, le reste pouvant être obtenu dans le réseau bancaire). Ce double apport s'est traduit par un renouveau de la phoeniciculture, par de nouvelles plantations : les noyaux des vieilles palmeraies autour de chaque localité se trouvent aujourd'hui ennoyés dans un ensemble planté qui est quasiment continu d'El Ghrouss à Bouchagroun. Il s'est traduit aussi par un essor spectaculaire de la plasticulture, souvent sur les marges des palmeraies, chaque exploitant comptant de 2 à 20 tunnels plastique, qui assurent un revenu immédiat en attendant que les jeunes plantations de palmiers entrent en production. Avec plus de 2,2 millions de palmiers (dont la moitié en Deglet Nour), la Wilaya de Biskra dépasse aujourd'hui la grande région productrice traditionnelle (**Côte, 2005**). Depuis l'application du PNDA, le début des réalisations en chiffres (**DSA., 2003**).

Phoeniciculture = plus de 6000 ha.

Arboriculture fruitière = plus de 600 ha.

Maraîchage = plus de 250 ha.

Plantation forestière et arboricole = 374 ha.

Mise en valeur des terres/concessions = 300 ha.

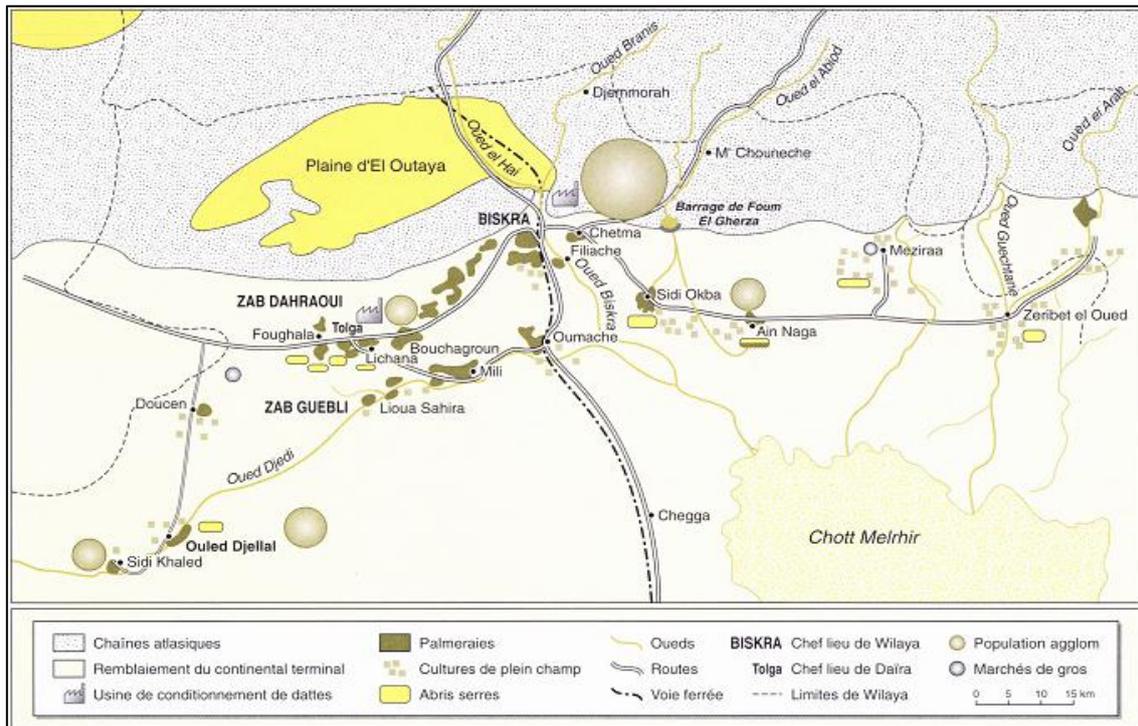


Figure 37. Carte schématique des Ziban (Dubost et Larbi-Youcef, 1998).

3.7. Le climat

Il n'existe pas de climat stable dans l'absolu mais seulement par référence à une échelle de temps déterminée, les climats ont constamment varié au cours de l'histoire terrestre, quoique à des vitesses différentes selon les périodes géologiques (Le Houérou, 1993). Par sa position géographique, la région de Biskra se caractérise par un climat un peu particulier par rapport aux régions du Tell et du Sahara (ANAT., 2003b). C'est le secteur proprement saharien, qui commence à l'Outaya et non à El Kantara. Il correspond au vrai domaine du palmier. La douceur d'hiver et la sécheresse hygrométrique très poussée de l'air, expliquent la faveur du Sahara Sud-Constantinois : le palmier Deglet Nour est limité au Bas-Sahara. Il est exclu du Sahara occidental, où la température minimale est inférieure à 3°C (Côte, 1974). L'aridité résulte de l'insuffisance quantitative des précipitations et des condensations, de leur répartition saisonnière et de leur durée par rapport aux besoins de la végétation sur un sol donné. Les données climatiques sont obtenues à partir du site Web (<http://www.tutiempo.net>) (Annexe 01).

3.7.1. Les précipitations

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (Benabadji et Bouazza, 2000). Les précipitations sont à la fois faibles et

épisodiques, à rythme saisonnier peu marqué, sauf sur les marges septentrionales à pluies d'hiver de type méditerranéen (Monod, 1992). Pour la station climatologique de Biskra et dans le cadre de l'analyse des événements climatologiques exceptionnels, il a été jugé utile de signaler quelques dates historiques où la pluie annuelle était, soit très faible voire critique (37 mm en 1946), soit abondante telles que celles enregistrées en 1951 (247 mm) et 1969 (230 mm), provoquant des pluies diluviennes pour la région des oasis occasionnant d'importants dégâts (ANAT., 2003b). Les pluies sahariennes sont inefficaces pour l'irrigation du palmier dattier car très peu importantes, mais elles peuvent avoir des conséquences sur le végétal dans ces périodes critiques : floraison, mûrissement, etc. (Belguedj et al., 2008 a).

3.7.1.1. Les précipitation mensuelles

L'étude de la variation des moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1984-2013 (Tab.16) nous montre une longue période de sécheresse. Les précipitations ont atteint une valeur minimale de 3,31 en aout et une autre maximale de 31.92 en mars.

Tableau 16. Moyenne mensuelle des précipitations de Biskra 1984-2013

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Somme
P (mm)	13,99	7,54	21,92	17,33	10,34	5,94	6,21	3,31	20,4	15,72	18,34	14,2	155.42

3.7.1.2. Les précipitations annuelles

La région de Biskra montre une pluviométrie faible et mal répartie avec une pluviométrie moyenne annuelle de 155.01 mm, avec une valeur minimale de 13, 22 mm en 1986 et avec un maximum de 342.69 mm en 1994 pour la période 1984-2013 (Fig. 38).

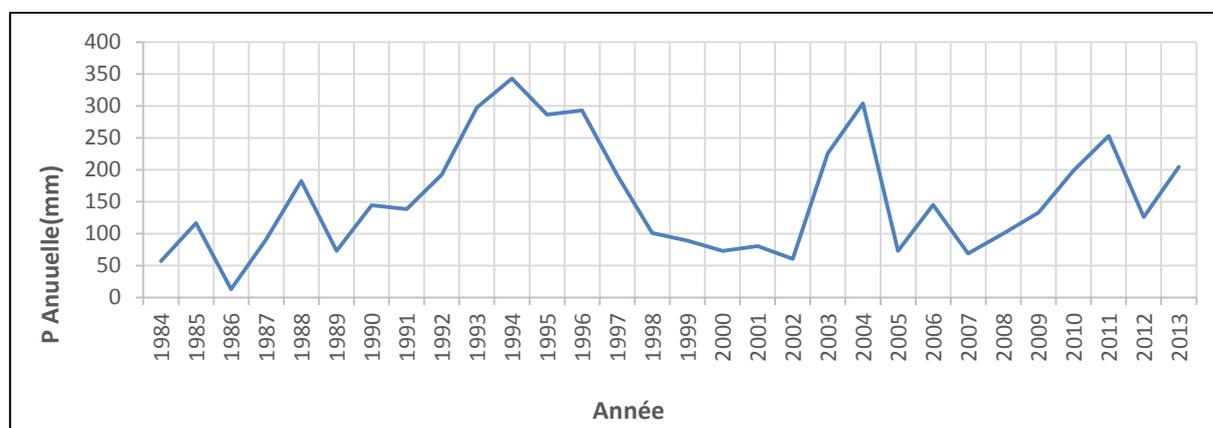


Figure 38. Variations interannuelles des précipitations annuelles (1984-2013).

3.7.2. Les températures

Les températures moyennes annuelles sont élevées. En profondeur, les températures vont diminuer rapidement et s'équilibrer (**Monod, 1992**). L'analyse des données de la période (1984-2013), est rapportée sur **le tableau 17 et la figure 39** des moyennes minimales et maximales de température. Les températures moyennes annuelles sont élevées, avec des maxima absolus peuvent atteindre et dépasser 40,64 °C, et des minima de Janvier à 7°C.

Tableau 17. Températures mensuelles moyennes, maximales et minimales de Biskra (1984-2013)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
m (C°)	7	8,64	11,73	14,9	19,62	24,53	27,71	27,64	23,36	18,21	12,21	8
M (C°)	20,92	18,66	22,86	26,65	31,93	36,9	40,64	40,06	34,58	28,99	22,21	17,65
Moy (C°)	12,01	13,54	17,17	20,22	26,04	31,22	34,5	34	29,01	23,45	16,97	13

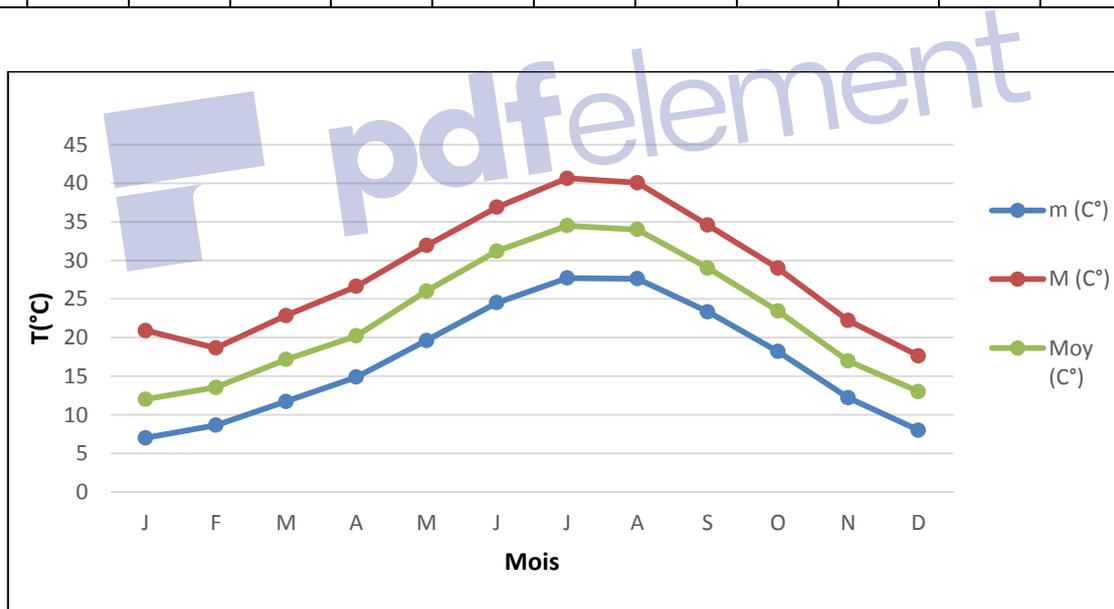


Figure 39. Températures moyennes, maximales et minimales de Biskra (1984-2013).

3.7.3. Le vent

Malgré les apparences, le Sahara ne serait pas un pays plus venteux qu'un autre mais simplement un pays où le vent, qui se manifeste sans contrainte, se fait particulièrement remarquer (**Monod, 1992**). Les vents soufflent généralement de Nord-Ouest, secs et froids en hiver, et très secs et chauds (Sirocco) en été (**Tab.18**).

Tableau 18. Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de Biskra de 1984-2013

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vitesse (m/s)	14,78	16,3	17,7	20,94	20,56	16,44	14,37	13,7	14,19	14,01	14,48	14

3.7.4. L'humidité

L'humidité relative est faible, souvent inférieure de 20 %, et l'évaporation est naturellement très forte (Monod, 1992). Les taux d'humidité relative de la période d'étude sont donnés dans le **Tableau 19**.

Tableau 19. Moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra de 1984-2013

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
HR (%)	55,33	46,67	41,29	36,12	23,13	27,29	24,89	27,9	37,38	44,96	52	57,63

3.8. La bioclimatologie

3.8.1. Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Pour déterminer les périodes sèches et humides au cours de l'année, de sorte que lorsque la courbe de précipitation passe au-dessus de la courbe de température, la période est humide. Au contraire, lorsque la courbe de température passe au-dessus de la courbe de précipitation ($P \leq 2T$), c'est une période sèche (**Fig. 40**).

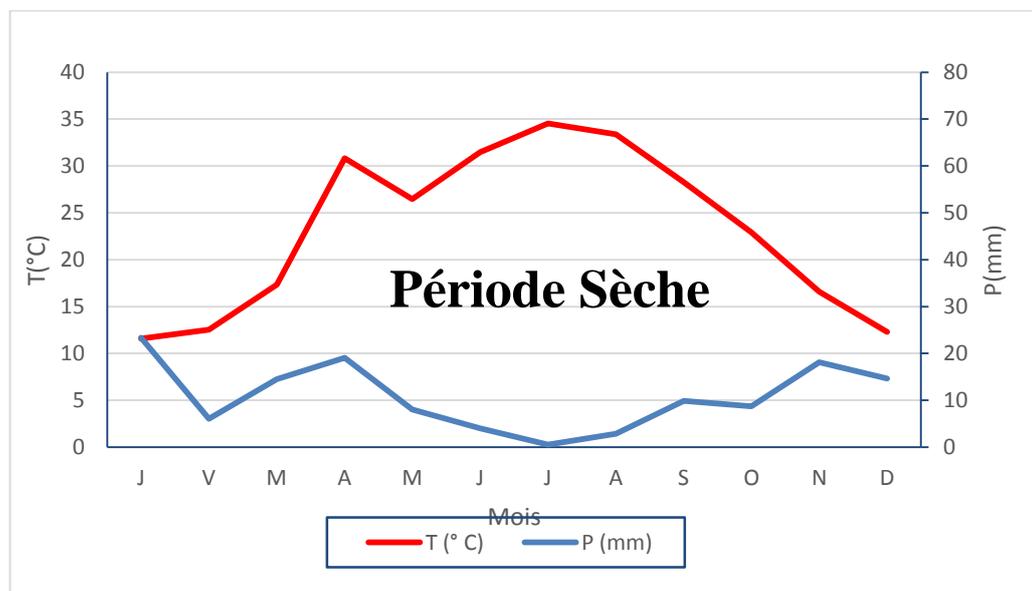


Figure 40. Diagramme Oombrothermique de Biskra 1984-2013.

3.8.2. Le climagramme pluviothermique d'Emberger

Quotient pluviométrique d'Emberger (Q₂) spécifique au climat méditerranéen permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude (**Fig. 41**). Pour déterminer ce quotient, nous avons utilisé la formule de **Stewart (1968)**, adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3,42 * \frac{P}{M-m}$$

Où :

P = Pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).

m = moyenne des minima du mois le plus froid (°C).

M et m sont exprimés en degrés

Pour notre région d'étude : P=155,52mm, M=40,64 °C, m=7°C, donc Q₂=15,84.

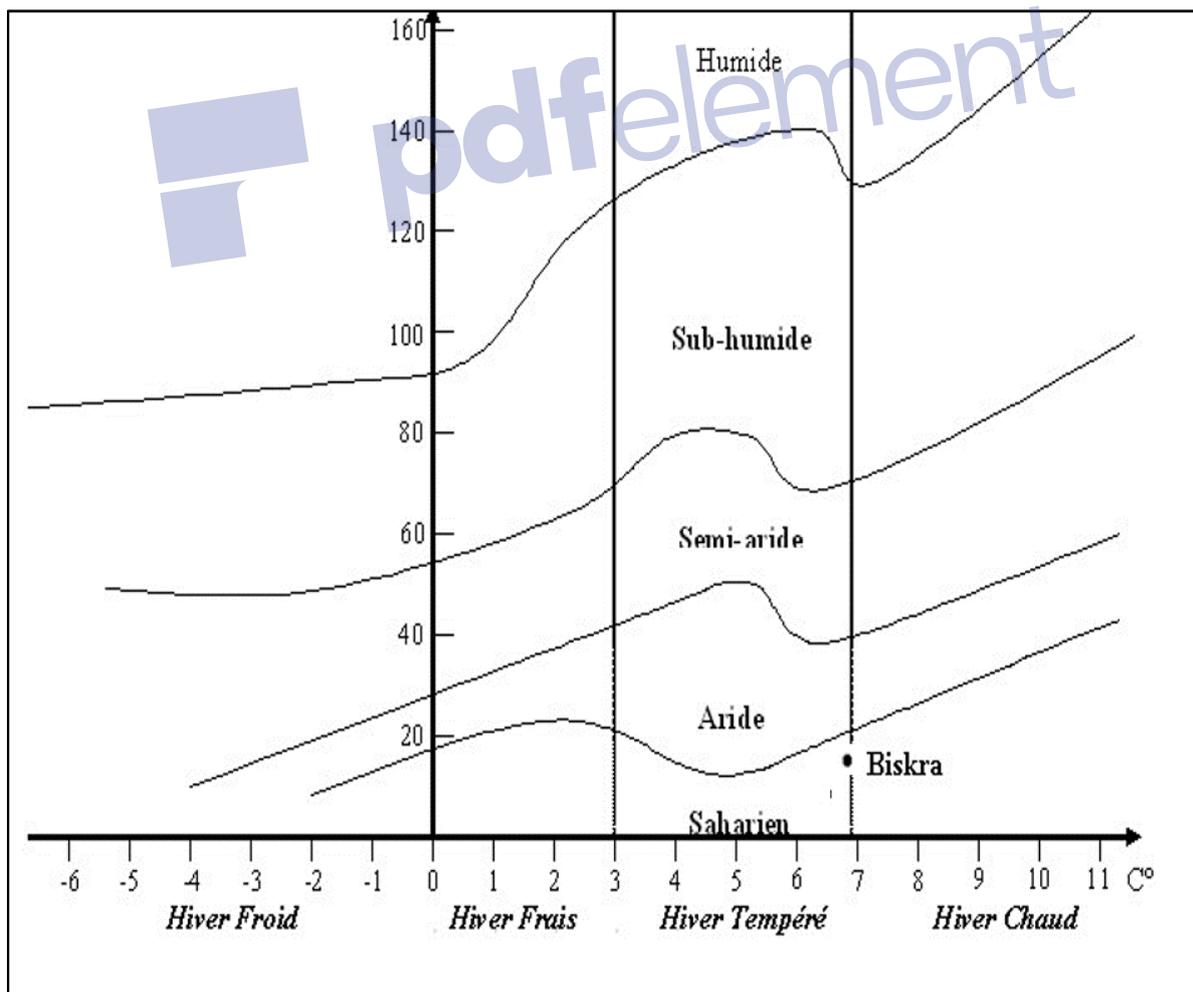


Figure 41. Climagramme d'Emberger de Biskra de 1984-2013.

3.8.3. Indice d'Aridité De Martonne

Selon **Baltas (2007)** et **Lungu et al. (2011)**, l'indice est calculé avec la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

I= Indice d'Aridité de De Martonne.

P= Pluviosité moyenne annuelle (mm).

T=Température moyenne annuelle (mm).

Climat très sec : $I < 10$.

Climat sec : $I < 0$.

Climat humide : $20 < I < 30$.

Climat très humide : $I > 30$.

Pour notre région d'étude : $P=155,42$ mm, $T=22,59$ °C, donc $I=4,76$, le climat de la région d'étude est sec.



Chapitre IV

Matériels et Méthodes

4.1. Matériels et Méthodes

Parmi le matériel utilisé au sein de cette étude, nous citons :

- * La carte topographique de Biskra, 1/200 000. IGN (Institut Géographique National), 1964.
- * La carte hydrogéologique et pluviométrique de Biskra, 1/200000. INCA (Institut National de Cartographie Alger), 1980.
- *La carte des sols 1/500 000 de la Wilaya de Biskra. SGA (Service Géographique de l'Armée), 1984.
- *La carte d'occupation des sols- Wilaya de Biskra, 1/200000. CTS (Centre des Techniques Spatiales) et DGF (Direction Générale des forêts), 2010.
- *La carte bioclimatique de l'Est Algérie, Marc cote, Université de Constantine, Algérie, 1974.
- *trois images satellites ont été utilisées dans cette étude : (i) Landsat 5 TM acquis en juin 1984, (ii) Landsat 7 ETM + pris en juillet 1999, et (iii) Landsat 8 OLI acquis en juin 2013 (Path 194, Row 036, Projection : UTM Zone 31 N, Résolution spatiale : 30 m, Dimensions : 805X705 pixels.).
- *L'appareil photo numérique.
- *Le matériel indispensable pour conserver les espèces récoltées sous forme d'herbier (boîtes, fiches cartonnées, papiers cellophanes...).

4.2. Les logiciels de cartographie utilisés

4.2.1. Le Map Info Professional

Le Map Info Professionnel est un outil de type système d'information géographique qui sert à créer de l'information géographique, la traiter, la manipuler et la cartographier de différentes manières (**Barbier, 2003**).

4.2.2. La Verticale Mapper 3.0

C'est un outil de création et d'exploitation de l'information géographique sous forme de grilles (Grid) assez puissant (MNT, exploitation d'images raster en relief...) (**Barbier, 2003**).

4.2.3. ENVI (*Environment for Visualizing Images*)

ENVI est le logiciel idéal pour la visualisation, l'analyse, et la présentation de tous les types d'images digitales. ENVI paquet inclut plusieurs outils avancés et facile à utiliser ; correction géométrique, analyse de terrain, analyse des images radars, analyse des données Raster et Vecteur, et etc.

4.2.4. Le Globale Mapper

Global Mapper est plus qu'un simple outil de visualisation capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répétés. Il converti, édite, imprime, acquière des données GPS, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple.

4.3. La désertification dans la région du Biskra en utilisant le modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use)

4.3.1. La méthodologie adoptée

La méthodologie suivie dans ce travail est inspirée de celle développée dans le projet MEDALUS. **Kosmas et al. (1999)** identifient la sensibilité à la désertification des écosystèmes méditerranéens par un indice de sensibilité à la désertification (**ISD**) obtenu à partir de la moyenne géométrique de quatre autres indices de qualité issue du milieu et de l'action de l'homme (sol, climat, végétation et système d'aménagement du territoire).

Ces facteurs sont évalués par des indices de qualité qui quantifient leur aptitude à résister à la désertification :

IQS : indice de qualité du sol ;

IQC : indice de qualité du climat ;

IQV : indice de qualité de la végétation ;

IQSA : indice de système du système d'aménagement ;

Le modèle standard proposé par **Kosmas et al. (1999)** a été utilisé avec quelques modifications de manière à être adaptée aux disponibilités des données et aux caractéristiques de la région de l'étude (**Fig. 42**).

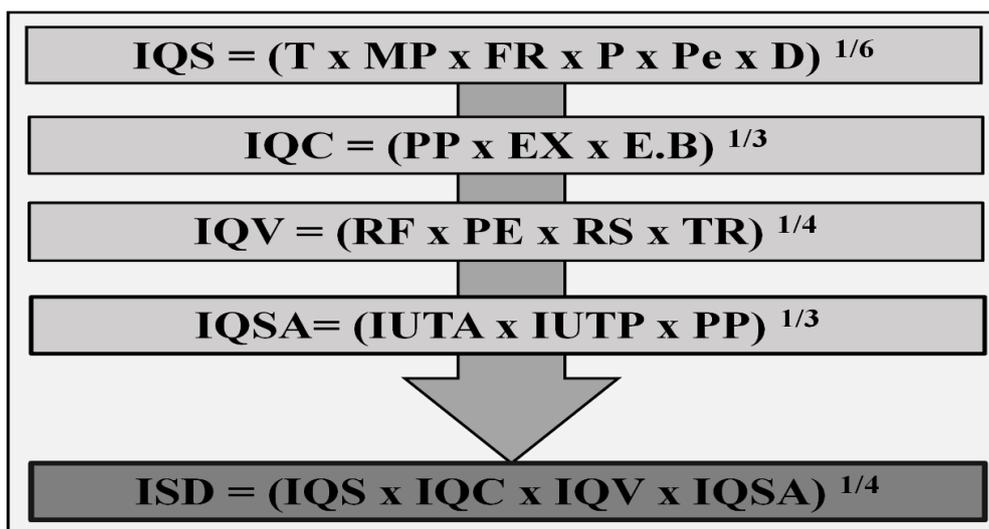


Figure 42. Les démarches suivies pour évaluer et cartographier l'ISD (Indice de sensibilité à la désertification) (Kosmas et al., 1999).

4.3.1.1. L'indice de la qualité du climat (IQC)

La qualité du climat est évaluée en utilisant les paramètres qui influent sur la disponibilité de l'eau aux plantes tels que la quantité de précipitations, la température et l'aridité. Trois couches ont été utilisées pour déterminer l'indice de qualité du climat. Les précipitations annuelles (**PP**) sont classées en trois classes ; élevé (<100 mm), Moyen (100-200 mm), faible (200-300mm). Étage bioclimatique (**E.B**) du climat en se basant sur la carte des étages bioclimatiques établis par Côte (1974) en deux classes ; faible (Subaride), et élevé (Aride). Enfin, l'exposition des versants (**EX**) en deux classes : faible (NE-NW), et élevé (SE-SW) (Tab. 20). La qualité du climat est évaluée par les indices suivants (Tab. 21). Cet indice est calculé selon l'équation suivante :

$$IQC = (PP \times EX \times E.B)^{1/3}$$

Tableau 20. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité du climat

Couches	Classes	Description	Indices
Précipitation	1	200-300	1
	2	100-200	2
	3	<100	4
Exposition	1	NE-NW	1
	2	SE-SW	2
Étage bioclimatique	1	Subaride	1,75
	2	Aride	2

Tableau 21. Classes de l'indice de qualité du climat

Classes	Descriptions	Indices
1	Haute qualité	<1,15
2	Qualité modérée	1,15-1,81
3	Mauvaise qualité	>1,81

4.3.1.2. L'indice de la qualité de sol (IQS)

Le sol est un facteur dominant des écosystèmes terrestres dans les régions arides et sahariens en particulier grâce à son effet sur la production de biomasse. Les paramètres édaphiques en relation avec la sensibilité à la désertification sont nombreux et variés. Ces propriétés sont utilisées par la cartographie et pour la définition des classes distinctes en ce qui concerne le degré de protection des terres contre la désertification (Haute, Modérée, Mauvaise). La méthodologie s'est limitée à certains paramètres simples, mesurables et influents, ces paramètres sont : la texture (**T**), le matériel parental (**MP**), le fragment de roche (**FR**), la profondeur (**P**), la pente (**Pe**) et le drainage (**D**) (**Tab. 22**). La couche qualité du sol en prenant la valeur de chaque classe (**Tab. 23**). L'indice de qualité de Sol est calculé en se basant sur l'équation suivante :

$$IQS = (T \times MP \times FR \times P \times Pe \times D)^{1/6}$$

Tableau 22. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité de sol

Couches	Classes	Descriptions	Caractéristiques	Indices
Texture	1	Bonne	L, SCL, SL, LS, CL (Argileux)	1
	2	Modérée	SC, SiL SiCL (Limon)	1,2
	3	Médiocre	Si, C, SiC (Sablonneux)	1,6
	4	Très insuffisant	S (extrêmement Sablonneux)	2
Matériel parental	1	Cohérent	Calcaires, dolomies, grés non friables, croute calcaire dure.	1
	2	Moyennement cohérent	Grés friables, marnes, schistes, en encroûtements argiles formations	2
		Tendre à friable	Sableuses, alluvions et colluvions non	

	3		consolidés,...	3
Fragment de roche	1	Très pierreux	>60%	1
	2	pierreux	20-60%	1,3
	3	Nu ou légèrement pierreux	<20%	2
Profondeur	1	Profond	>75 cm	1
	2	Modérée	75-30 cm	2
	3	Peu profond	15-30 cm	3
	4	Très peu profond	<15 cm	4
Pente	1	Douce	< 3%	1
	2	Peu Douce	3-12 %	1,2
	3	Raide	13-25 %	1,5
	4	Très Raide	>25 %	2
Drainage	1	Bien drainé	-	1
	2	Imparfaitement drainé	-	1.2
	3	Mal drainé	-	2

Tableau 23. Classes de l'indice de qualité du sol

Classes	Descriptions	Indices
1	Haute qualité	<1,13
2	Qualité modérée	1,13-1,45
3	Mauvaise qualité	>1,46

4.3.1.3. L'indice de la qualité de la végétation (IQV)

Des informations cartographiques et alphanumériques ont été utilisés pour réaliser La carte d'occupation du sol, telles que l'utilisation de la carte d'occupation des sols-Wilaya de Biskra éditée par **Agence Spatial Algérienne (ASAL) et Direction Générale de Forêt (DGF) (2010a)**, et les statistiques agricoles de la zone sont complétés par des études de reconnaissances sur le terrain. Neuf classes ont été utilisées d'après la disponibilité des données : Sable, chott, sebkha, Parcours, collines, culture, Le massif forestier, Relief montagneux, et relief. La qualité de la végétation est évaluée en termes de risque de feu (**RI**), la protection contre l'érosion (**PE**), la résistance à la sécheresse (**RS**), et le taux de recouvrement (**TR**) (**Tab. 24**). Après, l'indice de la qualité de la végétation est classé en trois classes définissant la qualité de la végétation face à la désertification ; haute, modérée, et mauvaise (**Tab.25**). L'indice de qualité de la végétation est calculé selon la formule suivante.

$$IQV = (RF \times PE \times RS \times TR)^{1/4}$$

Tableau 24. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité de végétation

Couches	Classes	Description	Type de végétation	Indices
Risque de feu	1	Faible	Sable, chott et sebkha.	1
	2	Moyenne	Parcours, collines, culture.	1,3
	3	Elevée	Le massif forestier.	1,5
Protection contre érosion	1	Elevée	Relief montagneux	1,6
	2	Moyenne	Parcours, Collines, culture	1,8
	3	Faible	Sable, chott et sebkha	2
Résistance à la sécheresse	1	Elevée	Chott et sebkha	1,2
	2	Moyenne	Culture, parcours, collines, relief	1,3
	3	Faible	Le massif forestier	1,7
	4	Très faible	Sable.	2
Taux de recouvrement	1	Elevée	Culture, forêt.	1
	2	Moyenne	Parcours, collines.	1,8
	3	Faible	Sable, chott et sebkha.	2

Tableau 25. Classes de l'indice de qualité de végétation

Classes	Descriptions	Indices
1	Haute qualité	<1,12
2	Qualité modérée	1,13-1,37
3	Mauvaise qualité	>1,38

4.3.1.4. L'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA)

L'indice de qualité du système d'aménagement est évalué par le croisement de trois couches suivantes : l'intensité d'utilisation des terres agricoles (**IUTA**), l'intensité d'utilisation des terres de parcours (**IUTP**), et la pression de la population (**PP**). L'intensité d'utilisation des terres agricoles est classée selon les paramètres suivants : Terrains agricoles, Parcours, Parcours dégradé, Sols sableux. L'intensité d'utilisation des terres de parcours est classée en 3 classes selon l'Indice de charge (Nombre de cheptel (têtes) /Surface des parcours (ha)) ; < 0.3 tête/ha, 0.3-0,6 tête/ha, et > 0.6 tête/ha. Trois classes sont distingués pour la pression de la population ; < 10 H/Km², 10-20 H/Km², et >20 H/Km² (**Tab. 26**). **Le Tableau 27** présente les classes et les indices de la qualité socioéconomique. Enfin, l'équation suivante est utilisée pour calculée l'IQSA.

$$IQSA = (IUTA \times IUTP \times PP)^{1/3}$$

Tableau 26. Classes et indices de différentes couches de l'indice de qualité du système d'aménagement

Couches	Classes	Descriptions	Caractéristiques	Indices
IUTA	1	Faible	Terrains agricoles	1
	2	Moyenne	Parcours	1,3
	3	Elevée	Parcours dégradé	1,6
	4	Très élevée	Sols sableux.	2
IUTP	1	Faible	< 0.3 tête/ha	1
	2	Moyenne	0.3-0,6 tête/ha	1,5
	3	Elevée	> 0.6 tête/ha	2
PP	1	Faible	< 10 H/Km ²	1
	2	Moyenne	10-20 H/Km ²	1,2
	3	Elevée	>20 H/Km ²	2

Tableau 27. Classes de l'indice de qualité du système d'aménagement

Classes	Description	Indice
1	Haute qualité	1-1,25
2	Qualité modérée	1,26 -1,50
3	Mauvaise qualité	>1,51

4.3.1.5. L'indice de sensibilité à la désertification (ISD)

L'indice de sensibilité à la désertification (**ISD**) est généré à partir de la superposition de quatre couches de la qualité des indicateurs à la désertification (**IQC**, **IQS**, **IQV**, et **IQSA**) en utilisant l'option (overlay. mbx) sur Mapinfo. La vulnérabilité à la désertification est évaluée selon les la valeur des indices suivants (**Tab. 28**).

L'élaboration de la carte de synthèse relative à la sensibilité susceptible de la désertification a été l'aboutissement de plusieurs combinaisons entre les différentes couches. La succession des différentes opérations s'est déroulée comme suit :

*Tout d'abord, la couche de qualité du sol a été obtenue par superposition des couches suivantes : textures, matière parental, fragment de roche, pente, et drainage.

*Une fois, cette couche est réalisée, le premier croisement est procédé croisement entre cette couche (**IQS**) et celle de la qualité du climat (**IQC**) (croisement1).

*Par la suite, la couche issue du croisement 1 a été superposée à celle de la couche de la qualité de la végétation (**IQV**) (croisement 2).

*La dernière étape c'est la superposition de la sortie du croisement 2 avec l'Indice qualité socioéconomique (IQSA) (croisement 3).

*En dernier lieu, les quatre indices dérivés sont multipliés pour l'évaluation de l'indice de sensibilité à la désertification (ISD) en utilisant l'équation suivante.

$$ISD = (IQS \times IQC \times IQV \times IQSA)^{1/4}$$

Tableau 28. Classes de l'indice de sensibilité à la désertification

Classes	Types	Sous-Type	ISD
1	Très sensible	C3	>1,53
		C2	1,42-1,53
		C1	1,38-1,41
2	Sensible	F3	1,33-1,37
		F2	1,27-1,32
		F1	1,23-1,26
3	Peu sensible	P	1,17-1,22
4	Non affectée	N	<1,17

4.4. Rôle des plantations des palmiers dattiers et L'Oasification dans la lutte contre la Désertification et l'envahissement du sable dans les zones arides

4.4.1. L'acquisition des données

Trois images satellites ont été utilisées dans cette étude : (i) Landsat 5 TM acquis en juin 1984, (ii) Landsat 7 ETM + pris en juillet 1999, et (iii) Landsat 8 OLI acquis en juin 2013 (**Fig.43**). Toutes ces images ont été acquises en été. **Vicente-Serrano et al. (2008)** ont noté que la couverture nuageuse est moins importante pendant les mois d'été, et qu'il est plus approprié de surveiller et d'analyser l'activité de la végétation. Les images ont été recueillies à partir des archives USGS Landsat (L1T) disponibles sur <http://glovis.usgs.gov>. Elles ont une résolution spatiale de 30 m avec moins de 1% de couverture nuageuse (CN) sur la zone d'étude pour Landsat 8 et 0% pour Landsat 5 et 7.

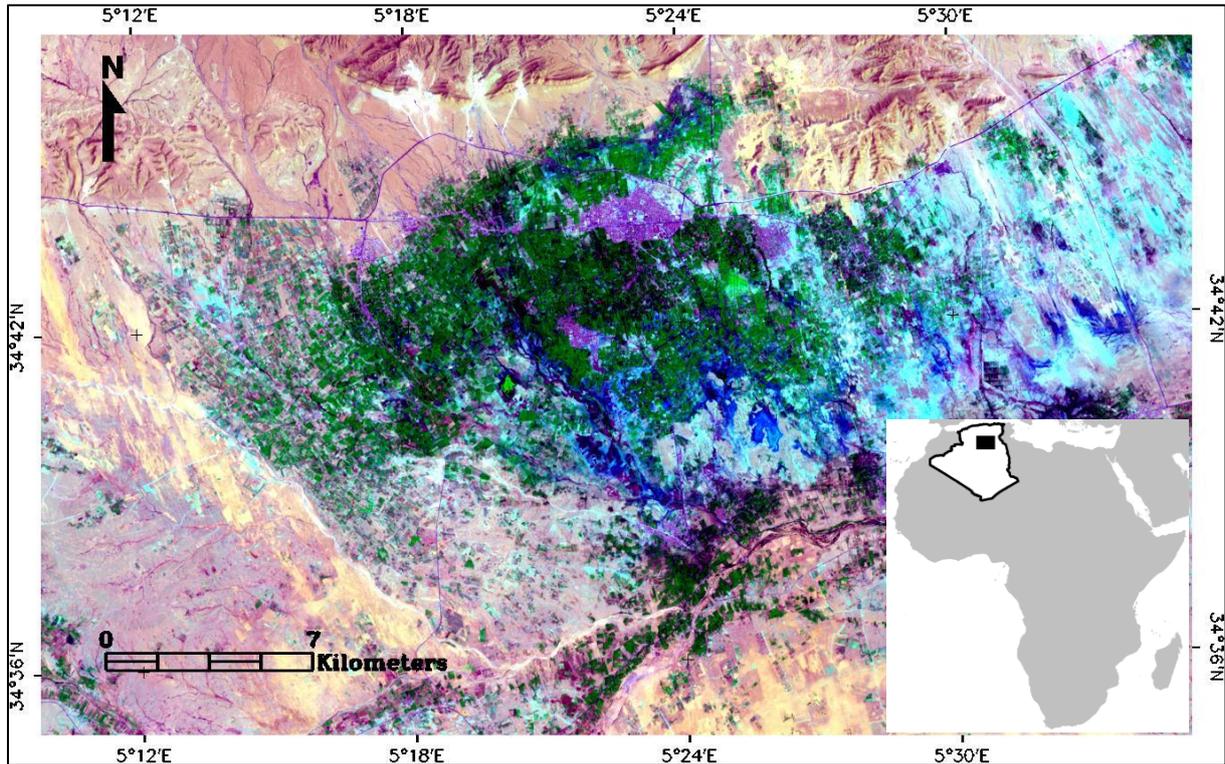


Figure 43. Zone d'étude, scène Landsat 8 OLI pour l'année 2013 (Composition fausse couleur RGB, Bandes 7-5-2).

4.4.2.1. La correction géométrique

Les corrections ont été effectuées grâce à l'acquisition des points amers figurant à la fois sur la composition colorée et sur l'image de référence. Toutes les images ont été corrigées à partir de l'image de référence (scène OLI 30/06/2013) à la zone de projection 31 UTM (Universal Transverse Mercator) Nord avec le système mondial géodésique (WGS) 1984. La méthode du plus proche voisin a été utilisée pour l'interpolation.

4.4.2.2. La correction radiométrique

L'homogénéité temporelle de l'ensemble de données est nécessaire pour effectuer une étude comparative. Dans l'ensemble, la réflectance du haut de l'atmosphère (TOA) a été largement acceptée pour l'étude du changement de l'occupation des sols et de la couverture végétale (LU / LC). Par conséquent, des corrections radiométriques complexes n'ont pas été nécessaires (Vicente-Serrano et al., 2008). La correction radiométrique des données permet de convertir le signal enregistré par le satellite dans une variable physique telle que, la

luminance spectrale à la sonde et la réflectance de la TOA, exprimées en unités scientifiques fondamentales.

4.4.2.2.1. Le Landsat-5 TM et Landsat 7-ETM +

Les procédures de corrections radiométriques pour Landsat-5 TM et Landsat-7 ETM +, brièvement présentées ci-après, sont recommandées par **Chander et al. (2009)** :

(i) Les différences de capteurs : transformation en luminance spectrale

Calculer les valeurs de luminance spectrale au capteur à partir de valeurs de Comptes Numériques (CN_s) en éliminant le gain et le décalage provoqués par les capteurs en utilisant l'équation suivante (équation 1) :

$$L_{\lambda} = (LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}/Q_{calmax} - Q_{calmin})(Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

ou: L_{λ} = la luminance apparente mesurée par les capteurs embarqués sur le satellite [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], $LMAX_{\lambda}$ = sont des valeurs de luminances maximales de chaque capteur [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], $LMIN_{\lambda}$ = sont des valeurs de luminances minimales de chaque capteur [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], Q_{calmax} = le compte numérique maximale de chaque pixel de l'image [CN=255], Q_{calmin} = le compte numérique minimale de chaque pixel de l'image [CN=0], Q_{cal} = le compte numérique de chaque pixel de l'image [CN]. Toutes les constantes en relation ont été obtenues à partir de l'étude de **Chander et al. (2009)**.

(ii) Les variations d'illumination et d'angle solaire : réflectance exoatmosphérique

La transformation de luminance spectrale au réflectance exoatmosphérique permis de réduire la variabilité scène-scène. L'équation suivante (équation 2) permet de calculer la réflectance TOA de la terre :

$$\rho_{\lambda} = \pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2 / ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s \quad (2)$$

Ou : ρ_{λ} = TOA Réflectance [sans unité], π = Constante mathématique égale à ~ 3.14159 [sans unité], L_{λ} = la luminance apparente mesurée par les capteurs embarqués sur le satellite [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], d = Distance Terre - Soleil. [unités astronomiques], $ESUN_{\lambda}$ = est l'éclairement solaire total hors atmosphère [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], θ_s = angle zénithal solaire. [degrés].

Les valeurs $ESUN_{\lambda}$ pour les images TM ont été acquises à partir de **Chander et Markhem (2003)**, et le manuel d'utilisation des données scientifiques Landsat-7 a été utilisé pour les images ETM + (http://tpwww.gsfc.nasa.gov/ias/hetbook/hetbook_toc.html).

4.4.2.2.2. Le Landsat-8 OLI

Les coefficients de calibration de réflectance fournis dans le fichier de métadonnées du produit (données de la Bande OLI) ont été utilisés pour convertir les valeurs comptes numériques (CNs) en réflectance exoatmosphérique (TOA) pour les Bandes OLI. L'équation suivante (équation 3) a été adoptée suite à http://Landsat8document/Landsat8_using_product.php.html. Tout d'abord, réflectance TOA sans correction d'angle de soleil a été calculé :

$$\rho\lambda' = M_{\rho}Q_{cal} + A_{\rho} \quad (3)$$

Où : $\rho\lambda'$ = TOA réflectance planétaire, Sans correction pour l'angle solaire. Nous notera que $\rho\lambda'$ ne contient pas de correction pour l'angle du soleil, M_{ρ} = facteur de calibration multiplicatif spécifique à la Bande à partir des métadonnées, A_{ρ} = facteur d'ajustement additif spécifique à la Bande à partir des métadonnées, Q_{cal} = le compte numérique de chaque pixel de l'image [CN]. Ensuite, la réflectance exoatmosphérique TOA est corrigée pour l'angle du soleil (équation 4) :

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \cos(\theta_{SZ}) \quad (4)$$

Où : $\rho\lambda$ = TOA réflectance planétaire, θ_{SE} = angle local d'élévation du soleil. L'angle d'élévation du centre de scène en degrés est fourni dans les métadonnées, θ_{SZ} = angle zénithal solaire où ; $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$.

4.4.3. L'analyse d'image

Pour cartographier la dynamique spatio-temporelle du PPD dans la zone d'étude, la classification supervisée par le maximum de vraisemblance a été adoptée. Des zones d'échantillonnage représentant les catégories d'occupation du sol de la région ont été recueillies au hasard à l'aide du GPS (Geographic Position System) pour une estimation plus précise de la classification. Une seule classe (PPD) a été générée dans notre cas. La matrice de corrélation des Bandes spectrales de chaque image satellitaire a permis d'obtenir les meilleures Bandes pour une bonne discrimination de surface, qui sont, le proche infrarouge (TM 7, ETM + 7 et OLI 7), le moyen infrarouge (TM 4, ETM + 4 et OLI 5), et le bleu (TM 1, ETM + 1 et OLI 2). Quatre indicateurs environnementaux ont été utilisés (La végétation, l'humidité, la salinité et l'ensablement) pour évaluer et pour surveiller les processus de désertification. Par conséquent, quatre indices spectraux (NDVI, NDMI, SI-T et CI) ont été

dérivés à partir de la réflectance spectrale des Bandes utilisées (**Tab. 29**). Le logiciel ENVI 4.5 a été utilisé pour tous les traitements et analyses d'images.

Tableau 29. Les indices spectraux dérivés de la réflectance des données

Indices	Formule	Référence
Normalized difference vegetation index (NDVI)	$(NIR - R)/(NIR + R)$	Rouse <i>et al.</i> , (1974)
Normalized difference moisture index (NDMI)	$(NIR - MIR)/(NIR + MIR)$	Wilson et Sader (2002)
Salinity index-Tripathi (SI-T)	$(R/NIR) \times 100$	Tripathi <i>et al.</i> (1997)
Crust index (CI)	$1 - (R - B)/(R + B)$	Karnieli (1997)

B : Bande Bleu, R : Bande Rouge, NIR : Bande Proche Infrarouge, MIR : Bande moyen infrarouge.

4.4.4. Analyse statistique

Le modèle mixte linéaire généralisé (GLMM) a été utilisé pour tester l'effet du PPD sur la variation des indicateurs de désertification (NDVI, NDMI, CI et SI-T) au cours des 30 dernières années (1984-2013). Les facteurs intégrés dans les modèles étaient (i) l'année et «présence / absence» de PPD pour NDVI ; (ii) année, plantation du Palmier dattier (PPD), et NDVI pour CI ; (iii) année, PPD, et NDVI pour NDMI ; (iv) année, PPD, NDVI, et NDMI pour SI-T. Pour chaque GLMM, les interactions des variables avec les plantations du palmier dattier ont été incluses parce que les images satellites concernent la même zone où les valeurs des indicateurs / indices de désertification ont été acquises par pixel (30 m) pour chaque année. Ainsi, ils ont été considérés comme des pseudo-répliques et le facteur «pixel» est intégré comme un effet aléatoire dans ce cas. Les paquets R nlme (Pinheiro *et al.*, 2015) ont été utilisés pour l'analyse statistique et les calculs, tandis que le paquet ggplot2 (Chang, 2013) a été utilisé pour tracer des graphiques.

4.5. La modélisation des sites propices à la phoeniculture dans la région de Biskra par l'outil SIG (Système d'Information Géographique)

4.5.1. La couche d'occupation du sol

L'analyse visuelle de l'image satellite a fait l'objet d'une étude approfondie. Le but de cette étape est de sélectionner les bandes spectrales qui permettent de faire ressortir au maximum les informations sur les types de sols (Bougherara, 2010). Afin d'obtenir la meilleure discrimination des surfaces, les coefficients de corrélation ont été étudiés (**Tab. 30**)

qui indiquent que les valeurs les moins corrélées sont entre les bandes moyenne infrarouge TM 7, le visible TM 1 et le proche infrarouge TM 4.

Tableau 30. Matrice de corrélation des bandes spectrales

Correlation	Bande 1	Bande 2	Bande 3	Bande 4	Bande 5	Bande 7
Bande 1	1.000000	0.998292	0.990920	0.991995	0.975181	0.961974
Bande 2	0.998292	1.000000	0.996239	0.994851	0.978360	0.966398
Bande 3	0.990920	0.996239	1.000000	0.996513	0.981465	0.972418
Bande 4	0.991995	0.994851	0.996513	1.000000	0.983906	0.973672
Bande 5	0.975181	0.978360	0.981465	0.983906	1.000000	0.995693
Bande 7	0.961974	0.966398	0.972418	0.973672	0.995693	1.000000

Le principe d'une classification supervisée repose sur l'isolement à l'écran de zones d'entraînement homogènes (ou taxons) qui correspondent à un thème d'occupation du sol connu et vérifié sur le terrain. Chaque taxon a une gamme de valeurs radiométriques différente. L'ensemble des valeurs radiométriques de chaque taxon dans chaque Bande spectrale constitue un nuage de points à 3 dimensions dont le centre est calculé automatiquement par le logiciel de classification (Mahamane et al., 2007 ; Benkouider et al., 2012). La classification par maximum de vraisemblance a été retenue qui considère que toutes les classes ont une probabilité *a priori* identique et qui présente des résultats proches de la réalité (N'guessan et al., 2003 ; Randriamanga, 2003). Pour évaluer la précision de notre classification, nous avons utilisé le coefficient Kappa (Maimouni et al., 2012 ; Bouzekri et Benmessaoud, 2014). C'est l'approche la plus utilisée (Maimouni et al., 2012), et elle est basée sur le calcul du coefficient Kappa par la formule suivante :

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

Où

r : nombre de lignes de la matrice de confusion ;

x_{ii} : nombre d'observations dans la ligne i et la colonne i;

x_{i+} et x_{+i} : total marginal de la ligne i et de la colonne i, respectivement ;

N : nombre total d'observations.

L'étape vérité-terrain est nécessaire pour valider la nomenclature de certains thèmes proposés après l'exploitation des photographies aériennes et de la composition colorée de l'image LANDSAT. Elle a en outre permis de réaliser une classification supervisée dans

l'étape du traitement numérique (Le Tourneau et Albert, 2005), pas moins de 150 points GPS ont été relevés, détaillant les milieux naturels (N'Guessan Kouakou et al., 2004 ; Mihai et al., 2006).

Sept (07) classes sont retenues (Palmeraie, sols nus et affleurement rocheux, groupements à Remt, groupements à halophytes, groupements à psammophytes et edifice sableux). D'après la carte d'occupation du sol réalisée par CTS (Centre des Techniques Spatiales) et DGF (Direction Générale des forêts) en 2010, chaque classe est déterminée par un poids de 1 à 3 d'après leur aptitude vis-à-vis la culture de palmier dattier (Tab. 31).

Tableau 31. Classes et indices de l'occupation du sol

Classes	Description	Type de végétation	Indices
1	Elevée	Palmeraie	1
2	Moyenne	Groupements à Remt Groupements à halophytes Groupements à psammophytes	2
3	Faible	Edifice sableux Sols nus et affleurement rocheux	2

4.5.2. La couche de la qualité du sol

La carte pédologique du sol est scannée. La numérisation est le passage d'un document graphique à un fichier informatique contenant des valeurs de coordonnées et des informations de dessin (CNTS., 1992). Après la numérisation, les cartes enregistrées, sous forme TIF, ont été converties en format IMG et géoréférencées. Le géoréférencement est en fait une double opération : recalage géographique et corrections géométriques. Le référentiel de projection géométrique UTM a été utilisé (Tsayem, 2000), qui permet d'éliminer les différences d'orientation entre les images, puis une harmonisation radiométrique a été effectuée pour que les images soient superposables et comparables (Desjardins et al., 2005). Comme la couche d'occupation du sol, chaque type de sol de la région étudiée est affecté par un poids (indice) de 1 à 3 en se basant sur l'exigence du palmier dattier en matière de la qualité de sol (Tab. 32).

Tableau 32. Classes et indices de la qualité de sol

Classes	Descriptions	Caractéristiques	Indices
1	Elevée	Sols alluviaux (Basiques) Sols éoliens d'ablation	1
2	Moyenne	Sols éoliens d'accumulation Sols calciques	2
3	Faible	Roche mère Sols Salins (Solontchack)	3

4.5.3. La carte du Salinité

L'indice de salinité NDSI est dérivé de l'image satellitaire Landsat 8 en utilisant la fonction Bande Math en ENVI 4.5, et en utilisant l'équation suivante :

$$NDSI = (R - PIR)/(R + PIR)$$

R= Bande Rouge

PIR= Bande Proche Infra-Rouge.

En général, les valeurs de NDSI varient de -1 à +1. Les valeurs négatives coïncident avec les zones non salées. Par contre, les valeurs positives représentent les zones salées, ensuite une analyse thématique a été effectuée en adoptant la méthode de Jenks (Natural Break). Le découpage en classes est déterminé de façon à minimiser la variance intraclasse et à maximiser la variance interclasses (variance : valeur moyenne du carré des écarts à la moyenne) (**Baz et al., 2009**). Cette méthode donne généralement de bons résultats (**Tab. 33**). Quatre indices de 1 à 4 sont générés sur la base de leur capacité à acquérir les plantations de palmier dattier.

Tableau 33. Classes et indices de la salinité

Classes	Descriptions	Caractéristiques	Indices
1	Elevée	-0,68 à -0,25	1
2	Moyenne	-0,25 à -0,16	2
3	Faible	-0,16 à -0,13	3
4	Très Faible	-0,13 à 0,88	4

4.5.4. L'évaluation de l'adéquation de terre pour la phoeniciculture

L'élaboration de la carte de synthèse relative aux zones adéquates pour la culture du palmier dattier est le résultat final de combinaison entre les trois couches. Les trois couches

déjà citées (Occupation du sol, qualité du sol et salinité du sol) ont été superposées par l'option « overlay.mbx » sur Mapinfo.

* Nous a procédé à un premier croisement entre la couche de l'occupation du sol et celle de la qualité du sol (croisement1), les deux couches occupation du sol et qualité du sol sont combinées selon des règles qualitatives de décision (**Tab. 34**).

Tableau 34. Indice croix-table de Occupation du sol- qualité du sol (I : Elevée, II : Moyenne, III : Faible)

qualité du sol	Occupation du sol		
	1	2	3
1	I	II	II
2	I	II	III
3	II	III	III

* Une fois cette couche est réalisée, un deuxième croisement a été procédé à entre cette couche et celle de la salinité du sol (Croisement 2). L'aptitude de terre à la phoeniciculture a été divisée en quatre classes basées sur des règles qualitatives de décision de multicritères (**Tab. 35**).

Tableau 35. Règles qualitatives de décision de multi-critères pour identifier l'aptitude de terre à la phoeniciculture.

Salinité (NDSI)	Occupation du sol-Qualité du sol		
	I	II	III
1	E	E	M
2	E	E	F
3	M	M	T.F
4	F	T.F	T.F

E : Elevée, M : Moyenne, F : Faible, T.F : Très faible

4.6. Les traits fonctionnels des espèces végétales dans l'écosystème oasisien dans la région de Biskra (Algérie-Sud)

4.6.1. Choix des stations

La station est la surface dans laquelle le relevé phytoécologique a été effectué (**Guinochet, 1973**), où les conditions écologiques sont homogènes (La végétation est uniforme). Le choix des stations tient compte de la physionomie de la végétation (Densité du

couvert végétal et composition floristique) et des conditions écologiques (Texture du sol, géologie, exposition et topographie.). Chaque station est accompagnée d'une fiche descriptive (**Annexe 2**). L'échantillonnage subjectif a été adopté dans ce travail.

4.6.2. Le coefficient d'abondance dominance de Braun Blanquet

Pour chacun des relevés et pour chaque espèce, nous avons noté son type biologique, son recouvrement, sa présence/absence et son indice d'abondance–dominance, noté de + à 5 selon l'échelle de **Braun-Blanquet (1951)**.

Abondance-Dominance :

- 5 : recouvrement supérieur à 75 %, abondance quelconque ;
- 4 : recouvrement de 50-75, abondance quelconque ;
- 3 : très abondant ou recouvrement supérieur à 5 % ;
- 2 : abondant et recouvrement faible ou assez peu abondant avec un plus grand recouvrement ;
- 1 : simplement présent (Recouvrement et abondance très faible) ;

4.6.3. La sociabilité

La sociabilité des espèces est déterminée selon L'échelle de sociabilité qualitative suivante :

- 5 : En peuplement formant un seul peuplement dense ;
- 4 : en petites colonies (en colonie) ;
- 3 : touffes ;
- 2 : en groupes (touffes, bouquets) ;
- 1 : isolément ;

4.6.4. L'aire minimale

La méthode couramment utilisée (**Fig. 44**) consiste à faire la liste des espèces sur une placette de surface 1, puis on double cette surface (1+2) et on ajoute les espèces nouvelles qui apparaissent, par doublements successifs, nous allons arriver à une surface (1+2+...+n) à partir de laquelle il n'y a pratiquement plus d'espèces nouvelles qui apparaissent (**Gounot, 1969**). Les relevés ont été réalisés selon la méthode des aires minimales évaluées préalablement en fonction de chaque type de station. La liste des espèces végétales a été réalisée grâce à la méthode de l'aire minimale au cours de la période d'étude.

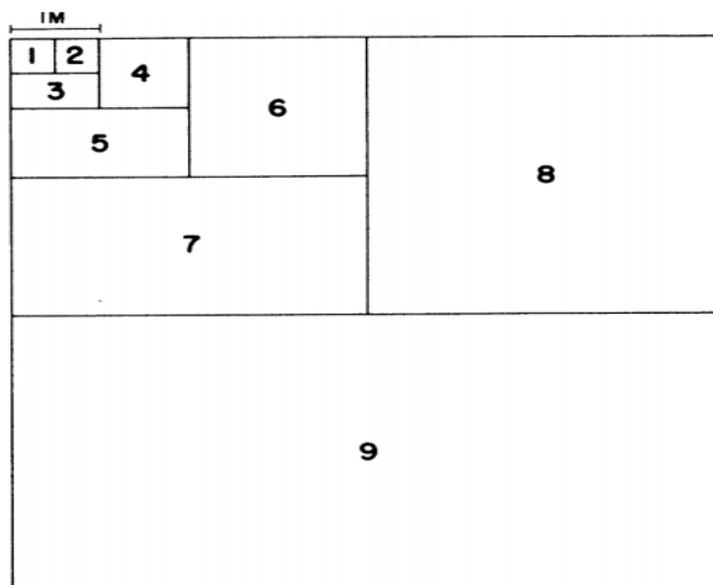


Figure 44. Méthode de déterminer l'Aire minimale (Gounot, 1969).

4.6.5. Le relevé floristique

Selon **Kadi- Hanifi (3003)**, il s'agit de l'ensemble des observations conjointes des relations entre la végétation et le milieu dans une station, c'est-à-dire dans une unité élémentaire des milieux. De nombreux relevés phytoécologiques ont été effectués sur des surfaces relativement homogènes (**Annexe 02**). La surface du relevé doit être au moins égale ou supérieure à l'aire minimale, contenant la quasi-totalité des espèces présentes. Dans notre cas, la taille du relevé est de 100 m^2 . Quarante (40) relevés phytoécologiques ont été effectués sur des surfaces relativement homogènes durant la période de pic de végétation de Mars à Avril (**Annexe 3**). L'identification des espèces a été facilitée par divers documents et flores illustrées dont ; **Quézel et Santa (1962)**, **Ozenda (1982,1992, et 2004)**, **Chehma (2006)**, et **Bayer et al. (2009)**

4.6.6. Le taux de Recouvrement

Les mesures du recouvrement sont effectuées pour tous les individus de la station, en projetant verticalement sur le sol les organes aériens des plantes.

4.6.7. L'abondance relative (RA%)

Le pourcentage de l'abondance relative (RA %) a été calculé pour chaque famille par le nombre d'espèce tenue par cette famille/le nombre total d'espèce (SR).

4.6.8. La fréquence d'occurrence

La fréquence de l'occurrence (Occ) a été calculée pour chaque espèce par le rapport du nombre de relevés contenant l'espèce i /total des relevés réalisés (Magurran, 2004). Les espèces végétales ont été classées en cinq classes d'occurrence (Dajoz, 2006) :

Classe I : comprend des espèces très rares avec une fréquence d'occurrence <20% ;

Classe II : l'occurrence varie de 21% à 40% (espèces rares) ;

Casse III : La fréquence varie de 41% à 60% (espèces fréquentes) ;

Classe IV : la fréquence varie de 61 à 80% (espèces abondantes) ;

Classe V : fréquence d'occurrence > 80% (espèce très abondante et constante) ;

4.6.9. L'indice de diversité de Shannon

Cet indice permet de mesurer la biodiversité. Selon le type de communautés, les valeurs de cet indice varient dans une fourchette approximative de 0,5 à 5 (8 dans certain cas). Pour un même nombre d'espèces (S), cette valeur sera d'autant plus élevée que leurs abondances respectives seront mieux équilibrées. Il donne du poids aux espèces rares (Magurran, 2004).

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left[\left(\frac{n_i}{N} \right) \times \text{Log}_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \right]$$

n_i : nombre d'individus d'une espèce i .

N : nombre total des individus toutes espèces comptées.

S : Richesse spécifique.

4.6.10. L'indice d'équiepartition ou d'équitabilité

L'indice d'équitabilité E est le rapport entre l'indice de diversité de Shannon H' et la diversité maximale H_{\max} , qui est représentée par le logarithme de la richesse spécifique S ($H_{\max} = \log S$). Cet indice peut varier de 0 à 1. Il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement (milieu relativement stable) et il est minimal (tend vers 0) quand une seule espèce domine tout le peuplement et qu'il y a dans le milieu plusieurs espèces rares.

$$E = H' / H_{\max}$$

4.6.11. Les types fonctionnels

4.6.11.1. Trait fonctionnel

Toute caractéristique (morphologique, physiologique ou phrénologique) mesurable à l'échelle de l'individu qui intervenant dans la valeur adaptative, de l'espèce sans faire référence à l'environnement (**Violle et al., 2007**). **Mc Gill et al. (2006)** ont défini le trait fonctionnel comme toute propriété mesurable des organismes, habituellement mesurée au niveau individuel, et utilisée de manière comparative à travers les espèces.

4.6.11.2. Les types fonctionnels de plantes

Le concept de types fonctionnels propose donc de classer les espèces selon une réponse commune aux facteurs de l'environnement et/ou selon un jeu commun de traits afin de prédire les effets sur les processus éco-systémiques et la dynamique de la végétation (**Gitay et Noble 1997**). Il s'agit des espèces présentant des réponses similaires, en terme d'abondance ou de présence/absence, aux facteurs de l'environnement tels que la disponibilité en ressource, le régime de perturbation ou encore les variables climatiques et/ou des espèces ayant des performances similaires du fait d'un ensemble commun d'attributs (**Gitay et Noble 1997**). Les types fonctionnels ont été déterminés en utilisant des données de la flore de l'Algérie (**Quézel et Santa, 1962**), les travaux de **Jauffret (2001)**, et la base de données 'eFlora' de Tela Botanica (www.tela-botanica.org/eflore).

4.6.11.2.1. Les types biologiques

Les plantes sont classées selon le système établi par **Raunkiær (1934)**, qui a organisé la végétation selon la position des organes de survie (et donc leurs méristèmes de croissance) pendant les périodes défavorables.

4.6.11.2.2. Les types ou modes de dissémination

Cette classification est liée aux caractéristiques des organismes eux-mêmes, ou certains de leurs éléments (par exemple graines), et des stratégies de régénération (**Médail et al., 1998**). La répartition géographique des plantes étant étroitement liée à leur aptitude à se disperser sur de longues distances. **Van der Pijl (1982)** a identifié six catégories de dispersion des graines ou des diaspores en fonction de facteurs internes ou externes, biotiques ou

abiotiques : Anémochorie (le vent), Zoochorie (animaux ; Epizoochorie et Endozoochorie), Barochorie (La pesanteur), Autochore (mécanisme propre à l'espèce), Hydrochorie (l'eau).

4.6.11.2.3. Les types morphologiques

Selon les différentes adaptations environnementales et le cycle de vie des plantes, deux grands groupes biologiques ont été identifiés : les herbacées annuelles et vivaces et les plantes vivaces ligneuses (Ghezlaoui et al., 2011).

4.6.11.2.4. Les types de Grime (C.S.R.)

La classification de Grime lie les traits biologiques à trois niveaux généraux de stress : le type d'environnement, les perturbations biotiques et les compétitions inter et intra-spécifiques. Les espèces végétales que nous avons identifiées ont été classées selon les catégories Grime (Grime, 2006). Cette classification comprend trois stratégies principales : la stratégie C (compétitive), la stratégie S (stress-tolérant) et la stratégie R (rudérale), et des stratégies secondaires : le rudéral compétitif (CR), le stresstolérant compétitif (CS) et le rudéral tolérant au stress (RS) (Fig. 45).

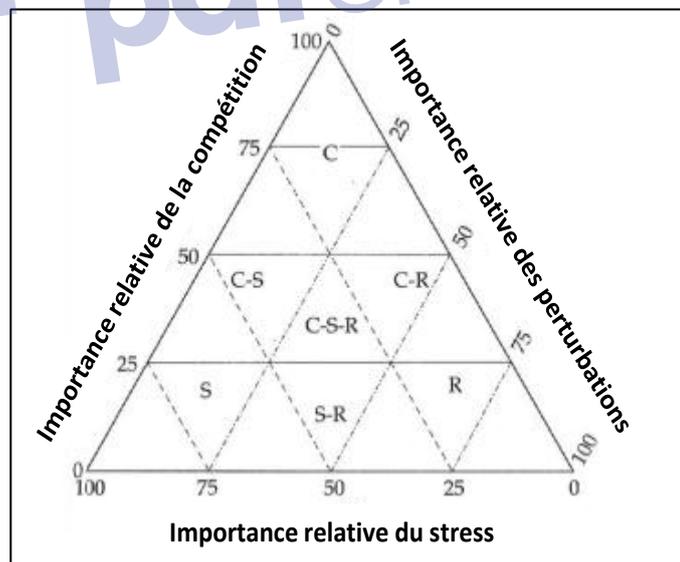


Figure 45. Triangle CSR de Grime décrivant les différentes stratégies possibles résultant de compromis entre stratégie de compétition, de tolérance au stress, et de tolérance aux perturbations (Grime, 1977).

4.6.11. 2.5. Les types de Noy-Meir : Espèces arido-actives et arido-passives

D'après l'adaptation des espèces aux conditions climatiques sévères, **Evenari et al. (1975)** ont proposé une classification permettant d'attribuer un critère fonctionnel aux espèces. **Noy-Meir (1973)**, a suggéré de classer les espèces des zones arides en deux catégories : les espèces « arido-passives » qui ne présentent pas d'activité photosynthétique durant la période sèche et les espèces « arido-actives » qui entretiennent une telle activité, même réduite, durant cette période.

4.6.11. 2. 6. Les types biogéographiques

Les caractéristiques phytogéographiques des espèces enregistrées ont été déterminées sur la base de la flore de l'Algérie et des régions désertiques (**Quézel et Santa, 1962**), et la base de données 'eFlora' (www.tela-botanica.org/eflore).

4.6.12. Le traitement des données par L'analyse factorielle des correspondances (A.F.C.)

Une analyse factorielle des correspondances (A.F.C.) (Espèces-relevés et facteurs-relevés) permet de regrouper les espèces et les relevés selon leurs affinités. Elle a été réalisée sur une matrice regroupant les espèces en fonction des relevés sur la base du critère abondance–dominance (**Zidane et al., 2010**). L'A.F.C a été effectué à l'aide du logiciel Xlstat.

Chapitre V

Résultats et Discussion

5.1. Désertification dans la région du Biskra en utilisant le modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use)

5.1.1. L'indice de qualité du sol (IQS)

Les résultats obtenus indiquent que les sols de bonne qualité représente 40,39 % de la zone d'étude et sont situés dans le Sud au long d'oued Djedi (Sols alluviaux, limons argileux). Les sols les plus vulnérables à la désertification (51,83 %) diffusent dans la partie centrale (Sols sableux et halomorphes). Les sols de qualité moyenne occupent environ 7,77 % et sont localisés dans les zones montagneuses (Fig. 46 et 50). En effet, la teneur en sels est relativement importante dans les sols des Oasis, comparativement à ceux du Nord du pays. Elle est inappropriée et contribue dans l'expansion ou l'accélération du phénomène de désertification (Khadraoui, 2010 ; 2011).

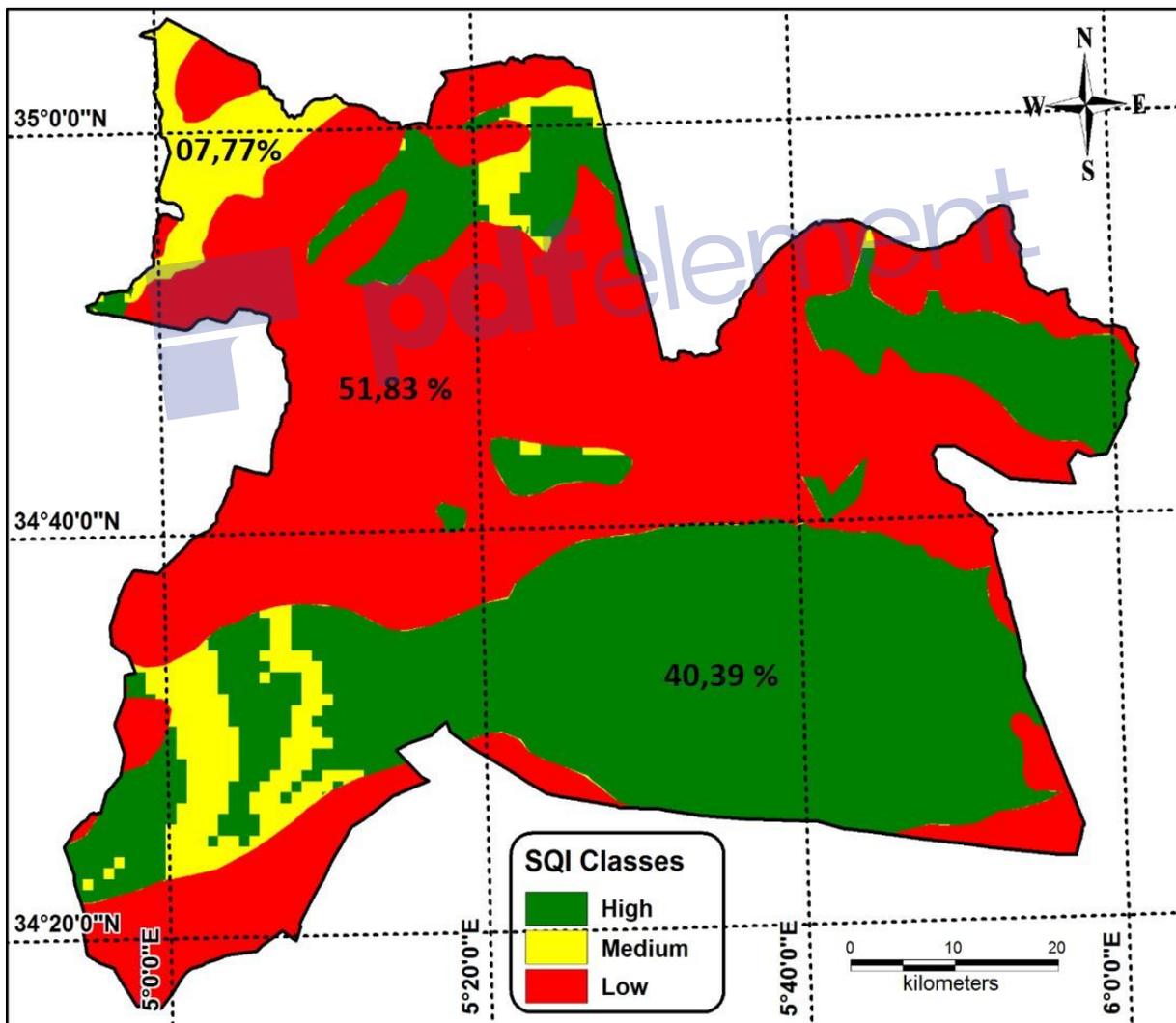


Figure 46. Carte de l'indice de qualité du sol (IQS).

5.1.2. L'indice de qualité du climat (IQC)

Une distribution presque égale entre les proportions de qualité de climat où la qualité moyenne de climat répartie dans les régions où les précipitations sont plus abondantes avec 46,57 %, alors que la qualité moyenne occupe 53,43% et caractérise les régions dont l'exposition dominante est le SE-SW (**Fig. 47 et 50**). Les changements climatiques ont une grande relation avec l'extension de la désertification. La quantité et le temps de précipitation sont efficacement utilisés en tant qu'indicateurs de changement de climat dans les zones arides désertées (*Some'e et al., 2012; He, 2014 ; Sayemuzzaman et Jha, 2014*).

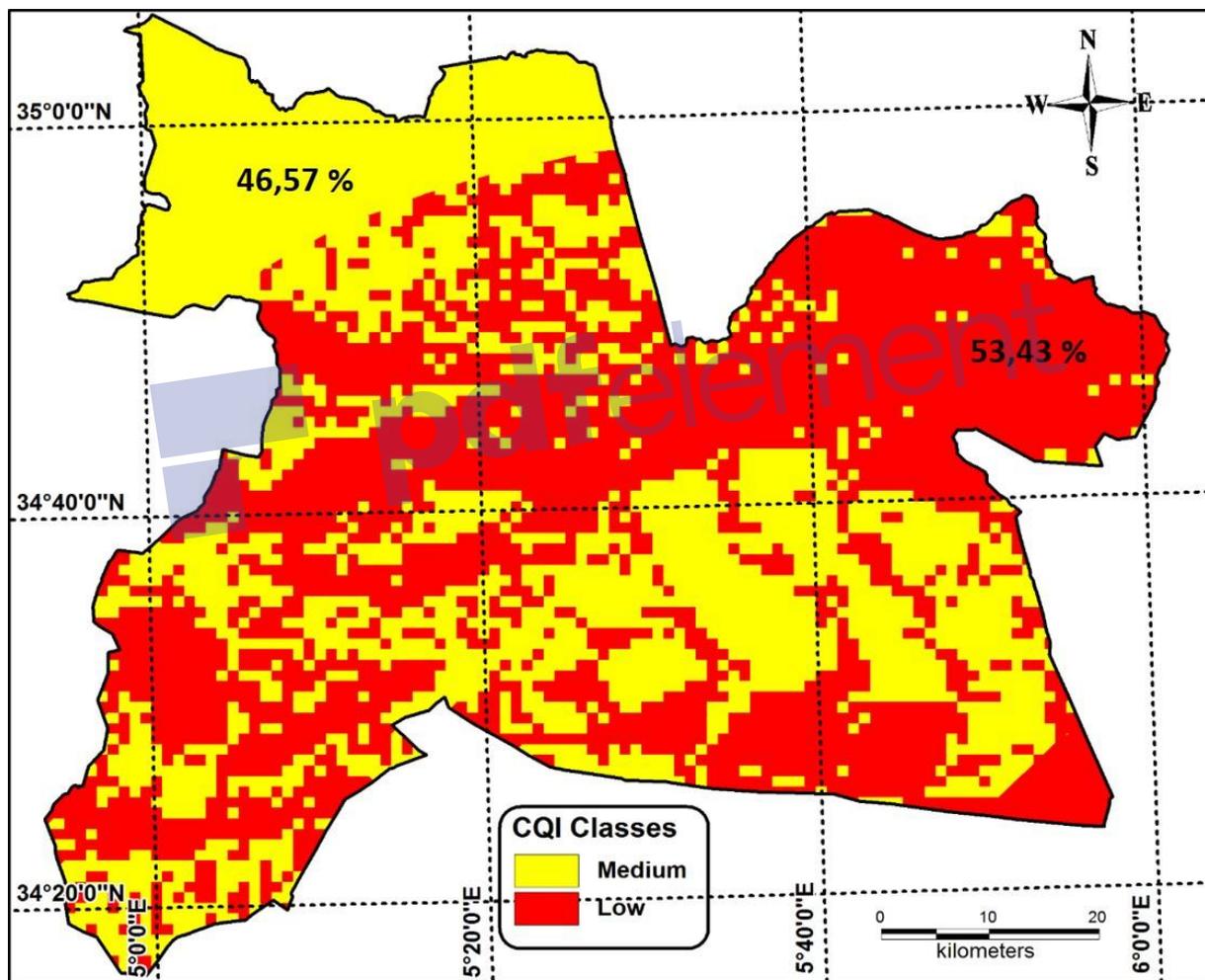


Figure 47. Carte de l'indice de qualité du climat (IQC).

5.1.3. L'indice de la qualité de la végétation (IQV)

La végétation de faible qualité domine presque totalement avec 99,98 % de superficie totale, alors que la classe de moyenne qualité est presque inexistante (25×10^{-5} %) (**Fig. 48 et**

50). D'après la carte d'occupation des sols de la wilaya de Biskra, le couvert végétal de la zone d'étude se caractérise par des formations végétales très dégradées : des groupements halophytes (*Arthrophytum scoparium*, *Salsola vermiculata*, *Sueda* spp. et *Tamarix* spp) et des groupements psammophytes (*Lygeum spartum*) (ASAL et DGF, 2010a). Bouhrara et Lacaze (2009) confirment le recul du couvert végétal naturel devant l'extension des activités agricoles et l'urbanisation.

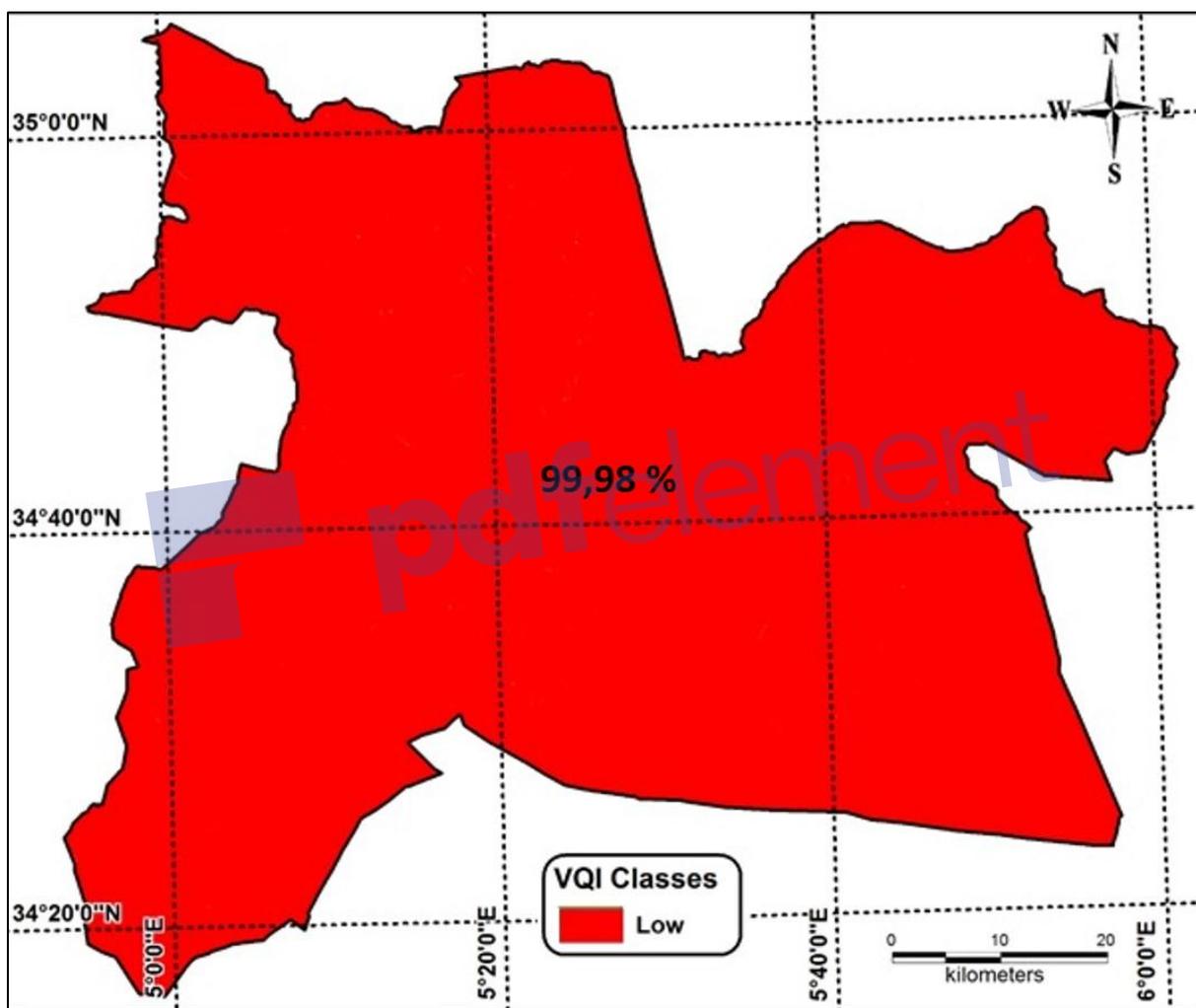


Figure 48. Carte de l'indice de la qualité de la végétation (IQV).

5.1.4. L'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA)

Comme l'indice de qualité de la végétation, 93,48 % de la superficie totale sont occupés par des systèmes d'aménagement de faible qualité. Selon le DPAT (1984 ; 1999 ; 2013) et au cours des années de 1948 à 2013, les parcours arides diminuent avec 9,86%, l'élevage accroît

avec 52.01% (surpâturage), et les terres irriguées progressent avec 37,85% (sûr-cultivation) et l'eau d'irrigation diminue avec 22,17 %. En outre, la population accroît et augmente avec 51,46%. La partie centrale est considérée moyenne du point de vue socio-économique, à cause d'une politique agricole fructueuse d'Etat traduite par l'application de plusieurs programmes et plan de développement agricole des régions sahariennes (**Fig. 49 et 50**).

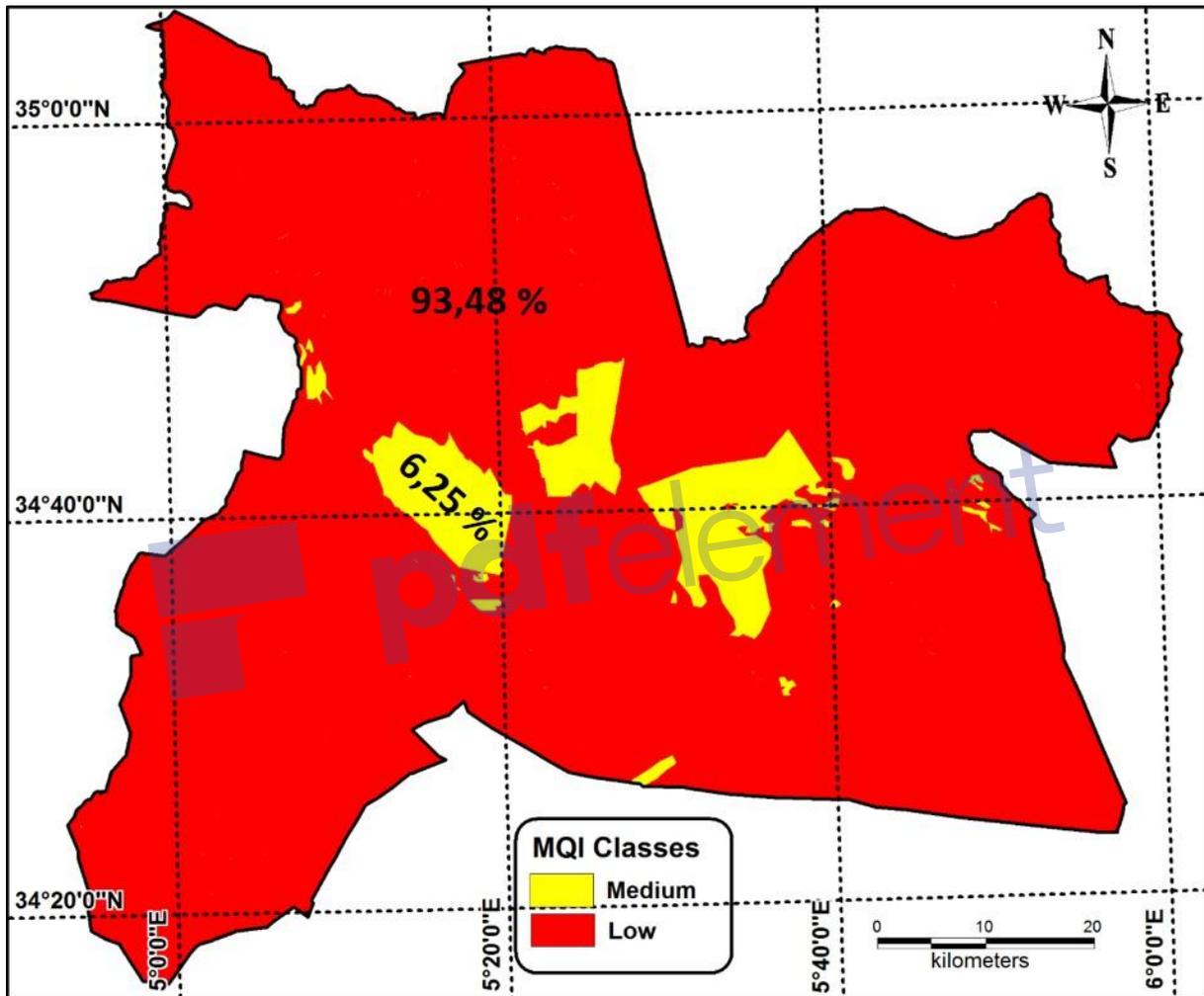


Figure 49. Carte d'indice de la qualité du système d'aménagement (IQSA).

La première étape de redynamisation agro-économique a commencé en 1984 avec le lancement de l'APFA (Accès à la propriété foncière agricole), une deuxième étape de promouvoir du secteur par l'application de GCA (Générale des Concessions Agricoles) lancé en 1994, le dernier cycle de développement établi en 2000 dans le cadre de PNDA (Plan National de Développement Agricole) (**Ferry et al., 1999; DSA, 2003; Belguedj et al., 2008; Bouguedoura et al., 2015**).

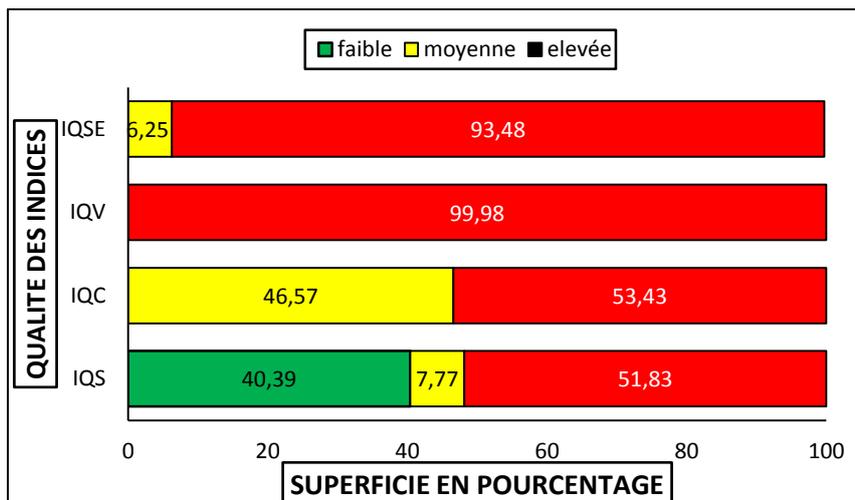


Figure 50. Superficies en pourcentage pour chaque indice de qualité (IQS, IQC, IQV et IQSE).

5.1.5. L'indice de sensibilité à la désertification (ISD)

La carte de la sensibilité environnementale à la désertification élaborée montre que 70,98 % de la région occupe la partie centrale et représente la classe très sensible-C3 (Plaines et dépressions). Les régions très sensibles sous-type (C2) diffusent dans les parties Sud et Nord (Montagnes et hautes plateaux, bas plateaux) avec 26,10 % de la zone étudiée. Les deux classes, très sensible (C1) et sensible représentent respectivement 2,55% et 0,36 % de la superficie totale (**Fig. 51 et 52**).

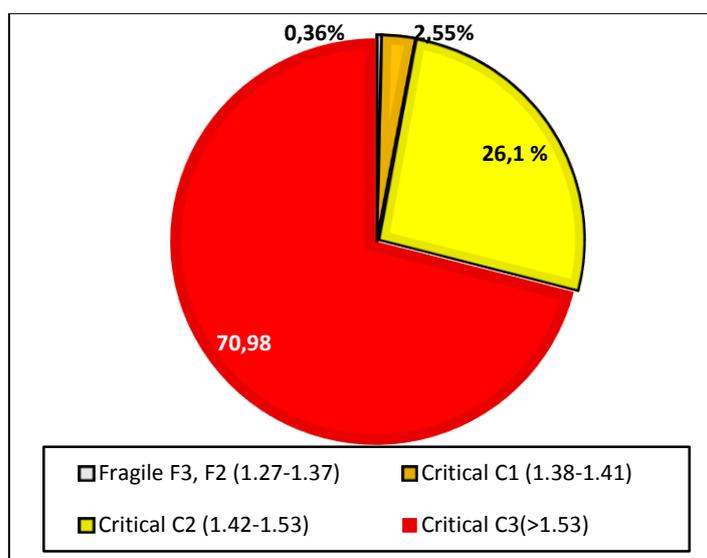


Figure 51. Superficies en pourcentage pour chaque classe de l'ISD.

Cette situation est due principalement à l'effet combiné du climat, de la pression anthropique (Surpâturage, sûr-cultivation, urbanisatio,etc.). L'extension continue des zones irriguées provoquent la salinisation des sols et des eaux souterraines (Zinck et Metternicht, 2009 ; Askri et al., 2010; Bai at al., 2014; Zhang et al., 2014) et peut aggraver ou accentuer le processus de désertification dans les Oasis sahariennes méditerranéennes. Les résultats de la carte de l'indice de sensibilité à la désertification (ISD) sont fortement supportés par la carte de sensibilité à la désertification-wilaya de Biskra (ASAL et DGF, 2010b).

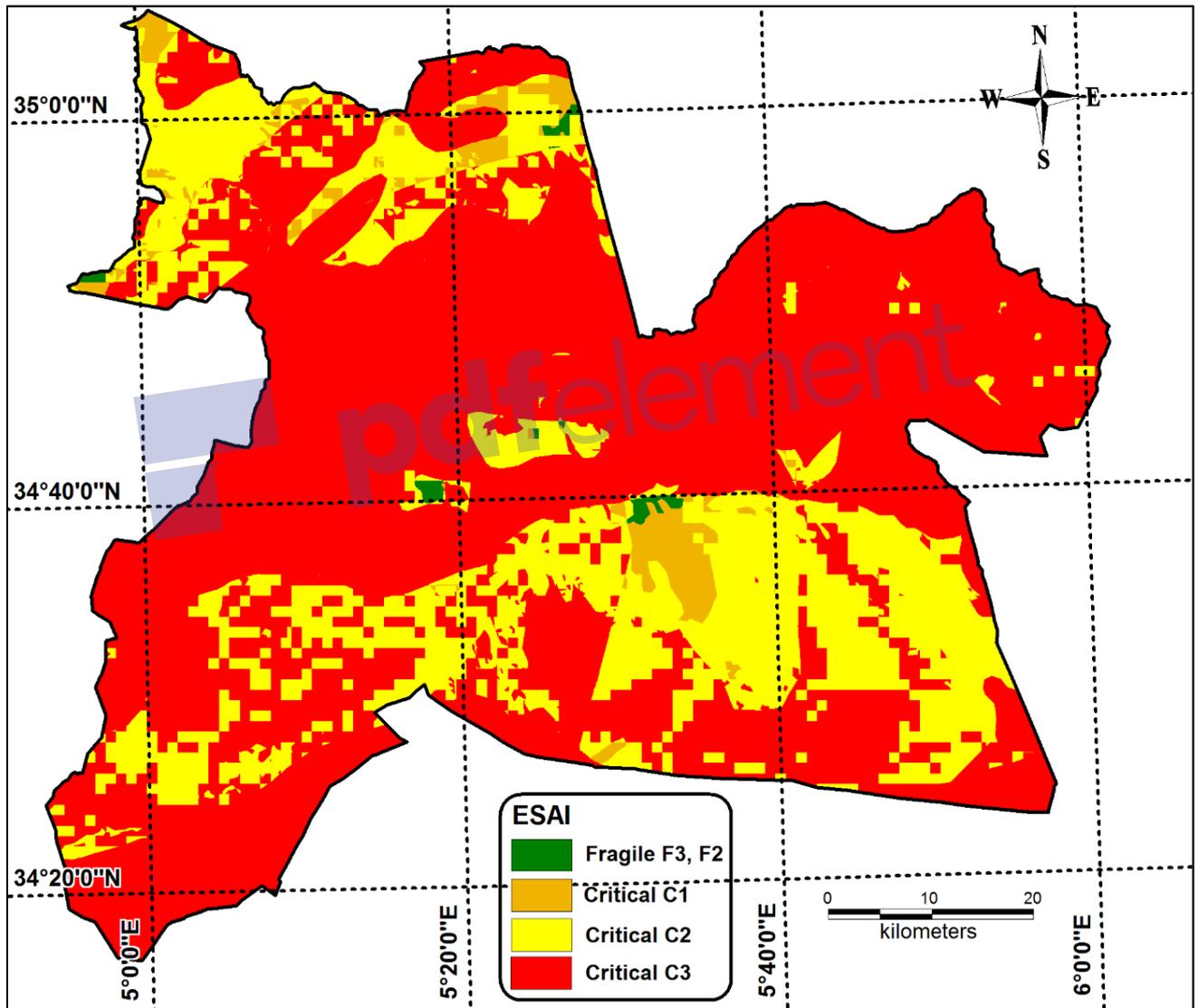


Figure 52. Carte finale de sensibilité environnementale à la désertification (ISD).

5.2. Rôle des plantations des palmiers dattiers et L'Oasification dans la lutte contre la Désertification et l'envahissement du sable dans les zones arides

5.2.1. Changement de plantation de palmiers dattiers (PPD) au cours des trois dernières décennies

La **figure 53 a-c** montre les changements de PPD au cours des trente dernières années. Les statistiques sur les changements de superficie et le nombre de palmier dattier pour les trois années sont résumées au **Tableau 36**. De 1984 à 1999, on observe une augmentation évidente de la superficie du PPD avec 20,13 km² (2,26%) et un nombre de palmiers dattier de 241574 arbres. De même, pour la deuxième période (1999-2013), une augmentation remarquable a été enregistrée dans la zone du PPD et le nombre de palmier dattier avec respectivement 28,09 km² (3,15%) et 343 332 arbres.

En général, l'augmentation a été enregistrée à la fois dans la superficie du PPD et dans le nombre de palmier dattier au cours des 30 dernières années. Les techniques de traitement d'images par satellite Landsat ont permis de suivre la dynamique et d'évaluer les tendances du PPD dans les paysages oasiens du désert. En fait, les images satellites Landsat peuvent être utilisées dans ce cas, à condition que la superficie végétale totale de palmeraie soit supérieure à 0,4 ha (**Luedeling et Buerkert, 2008 ; Mihi et al., 2017**).). Les deux pics du PPD (coïncidant avec 1999 et 2013, **Tab. 36**) concordent d'une part, avec la première période d'extension des cultures du palmier dattier en 1984, établie dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole (APFA), qui vise à promouvoir l'agriculture saharienne, et d'autre part avec un autre programme «Programme National de Développement Agricole (PNDA), 2000 » qui a coïncidé avec la deuxième grande extension du PPD dans le Sahara Algérien. Il est notoire que la variété Deglet-Noor a dominé dans la zone d'étude, en raison de sa grande valeur commerciale dans le commerce local et international. La conséquence de ce modèle de monoculture est la marginalisation, et par conséquent, l'érosion génétique des variétés indigènes (Valeur commerciale moins importante). Cette exploitation moderne des agrosystèmes oasiens en Afrique du Nord et au Moyen-Orient a augmenté la fragilité du système oasien et a déclenché leur vulnérabilité aux stress abiotiques et aux dégradations biologiques (**Idder et al., 2015; Jaradat, 2015, 2016**).

Tableau 36. Résumé du changement du palmier dattier pour 1984, 1999 et 2013

Données PDD	1984	1999	2013	Changement total (1984-2013)	Taux annuel de Changement (1984-2013)
Superficie (km ²)	54.06	74.19	102.28	+48.22	+1.66
%	06.07	08.33	11.48	+5.41	+0.19
Nombre du palmier dattier*	648,745	890,319	1,233,651	+584,906	+20,169
Précision globale (%)	96.43	95	94.68		
Coefficient de Kappa (%)	95	92	94		

* Selon Bouguedoura et al. (2015) (1 ha = 120 palmiers dattiers).

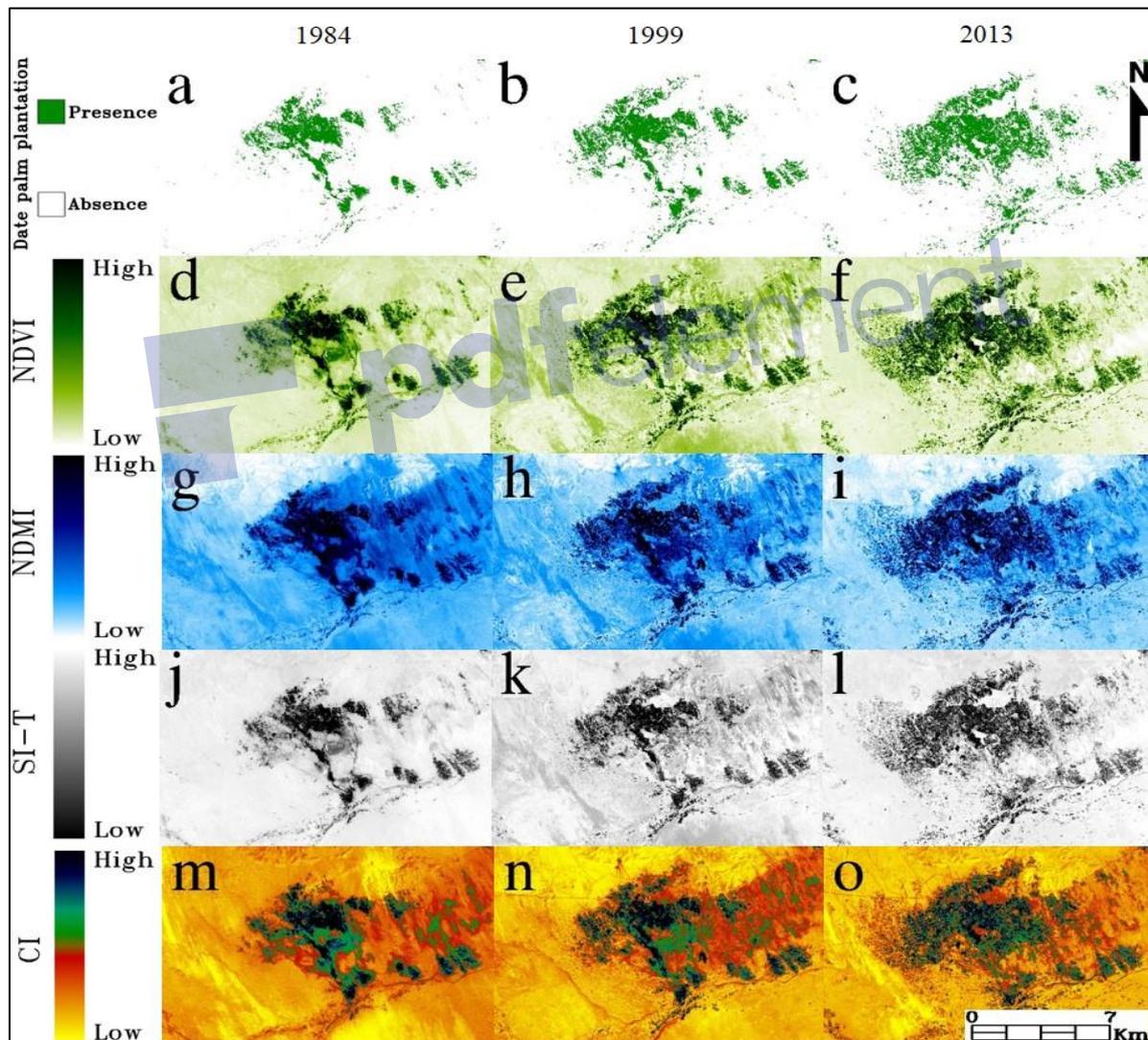


Figure 53. Changement spatiotemporel de terre dans la région de Ziban (NE Algérie) de 1984 à 2013. Les changements sont liés à la plantation de palmiers dattiers (a-c), NDVI (d-f), NDMI (g-i), SI-T (j-l) et CI (m-o) pour les années 1984, 1999 et 2013 respectivement.

5.2.2. Les indicateurs de la désertification basés sur les plantations de palmiers dattiers

5.2.2.1. Les effets du DPP sur le NDVI

L'indice NDVI de la zone d'étude pour chaque année est présenté dans la **Fig. 53 d-f**. Les boxplots montrent une augmentation rapide de la biomasse verte au cours des années. La moyenne de l'NDVI est de $0,12 \pm 0,04$ (moyenne \pm écart type) en 1984, puis de $0,13 \pm 0,07$ en 1999, elle a atteint $0,18 \pm 0,10$ en 2013. Pour chaque année, les valeurs du NDVI augmentent avec la présence de PPD, tandis que le NDVI diminue significativement avec l'absence de PPD (**Fig. 54**). Le GLMM a révélé des augmentations significatives importantes ($P < 0,0001$) dans les valeurs du NDVI entre les années d'étude, alors qu'il a indiqué que dans la même année, la présence de PPD a montré des valeurs de NDVI significativement plus élevées ($P < 0,0001$) par rapport à la zone non plantée avec le PPD (**Tab. 37**). Généralement, les valeurs élevées de l'indice NDVI représentent la zone cultivée avec PPD. Cependant, de faibles valeurs de NDVI se rapportent à des zones non cultivées (sans PPD). Les valeurs élevées de NDVI indiquent la végétation boisée, dans ce cas les vergers de PPD où leur activité photosynthétique est plus élevée, comme il a été avancé par **Luedeling et Buerkert (2008)**, comparativement aux communautés de plantes désertiques dispersées, caractérisées par de faibles valeurs de NDVI. **Lamchin et al. (2016)**, rapportent que les valeurs du NDVI sont fortement recommandées pour différencier entre les zones désertifiées et non désertifiées. En effet, les zones affectées par la désertification ont été caractérisées par des valeurs de NDVI $< 0,50$, autrement dit, les zones non désertifiées ont des valeurs supérieures à ce seuil.

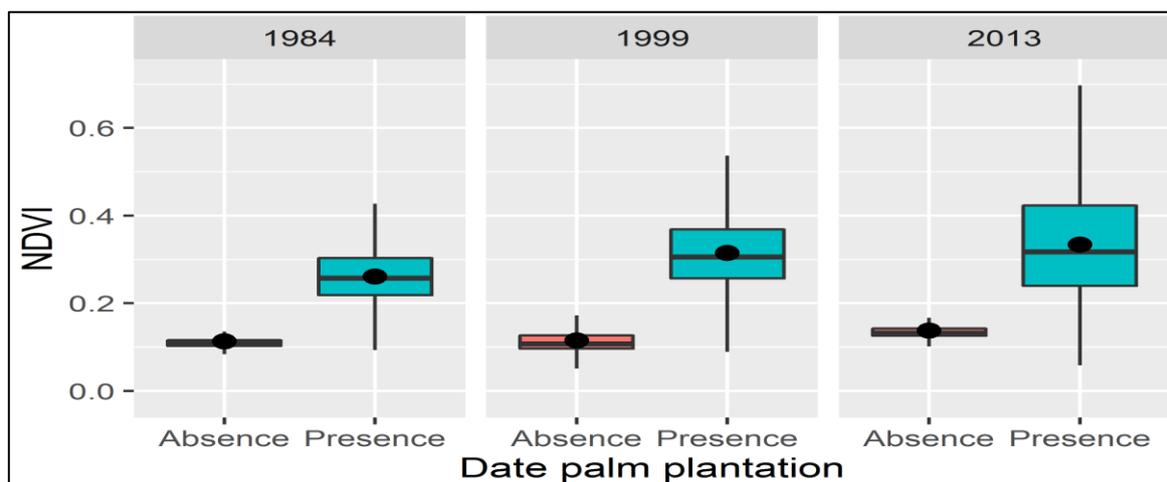


Figure 54. Variation des valeurs de NDVI dans la région de Ziban (désert du Sahara algérien) pendant la période 1984-2013 suite à la présence / absence de PPD. Les cercles pleins indiquent les moyennes.

Tableau 37. GLMM relatif aux effets des années, présence / absence de PPD, et leur interaction 'année' DPP 'sur le changement du NDVI

Variabes	Valeur	Std. Erreur	DDL	<i>t</i> -théorique	<i>p</i> -valeur
Interception	0.114	4.3E-05	1979339	2669.32	<0.001
Année 1999	0.003	5.3E-05	1979339	55.60	<0.001
Année 2013	0.026	5.5E-05	1979339	462.97	<0.001
Présence de PPD	0.125	1.7E-04	1979339	747.47	<0.001
Année 1999 × Présence de PPD	0.049	2.0E-04	1979339	238.82	<0.001
Année 2013 × Présence de PPD	0.059	1.8E-04	1979339	319.51	<0.001

5.2.2.2. Influences du NDVI et du PPD sur le CI

Les trois cartes de l'indice CI sont affichées aux **Fig. 53 m-o**. Les valeurs de CI varient significativement entre les années ($P < 0,0001$) avec une moyenne de $0,77 \pm 0,04$, $0,79 \pm 1,09$ et $0,79 \pm 0,08$ respectivement pour les années 1984, 1999 et 2013. Le GLMM indique que l'augmentation observée entre l'année est statistiquement significative. Une relation positive significative ($P < 0,0001$) est obtenue entre les deux indices NDVI et CI. Les valeurs de CI augmentent avec l'augmentation des valeurs de NDVI (**Fig. 55, Tab. 38**). Par ailleurs, la présence de PPD induit une augmentation significative de l'indice de CI ($P < 0,0001$). En fait, les valeurs élevées de l'indice CI se réfèrent à des zones avec PPD, alors que de faibles valeurs de CI indiquent des zones avec des communautés de plantes psammophytes qui se trouvent dans les dunes de sable, ou simplement des sols dénudés avec une végétation désertique dispersée et clairsemée. Lorsque les valeurs de CI varient entre 0,56 et 0,78, cela indique un paysage de végétation sableuse (**Karnieli, 1997**). Les dunes de sable actives et mobiles sans couverture végétale possèdent des valeurs de $CI \leq 0,56$ et des valeurs de NDVI $\leq 0,01$ (**Maman et al., 2011**). La relation négative entre la couverture végétale verte et l'ensablement est en accord avec l'étude de **Wang (2013)**, qui a signalé que l'ensablement diminue avec l'augmentation de la couverture végétale. **Zhou et al. (2004)** ont affirmé également que la teneur en sable dans le sol oasien est plus faible par rapport à la teneur en argile. **Wang (2013)** a rapporté qu'il existe une relation solide entre la salinisation et l'ensablement dans les zones désertiques, parce que l'évaporation continue de l'eau provoque une augmentation progressive de l'accumulation de sels dans le sol, qui déclenche à son tour la dégradation et la diminution de la couverture végétale naturelle en raison du stress

abiotique et / ou biotique. Pratiquement, les PPD de la région de Ziban sont situées dans un couloir de vent de mouvement du sable à partir du bassin de Hodna vers les grands Ergs algériens orientaux dans le Sahara, ce qui explique la répartition des dépôts de sable dans les oasis abandonnées à l'Ouest de la zone d'étude (**Boureboune et Benazzouz, 2009**). Par conséquent, la direction de l'ensablement commence du Nord-Ouest vers le Sud-Est de l'Algérie (**Ballais, 2005**). Ainsi, de nombreuses espèces de plantes ont été enterrées sous les masses de sable et remplacées par des taxons de végétation de dunes de sable, comme les communautés psammophytiques.

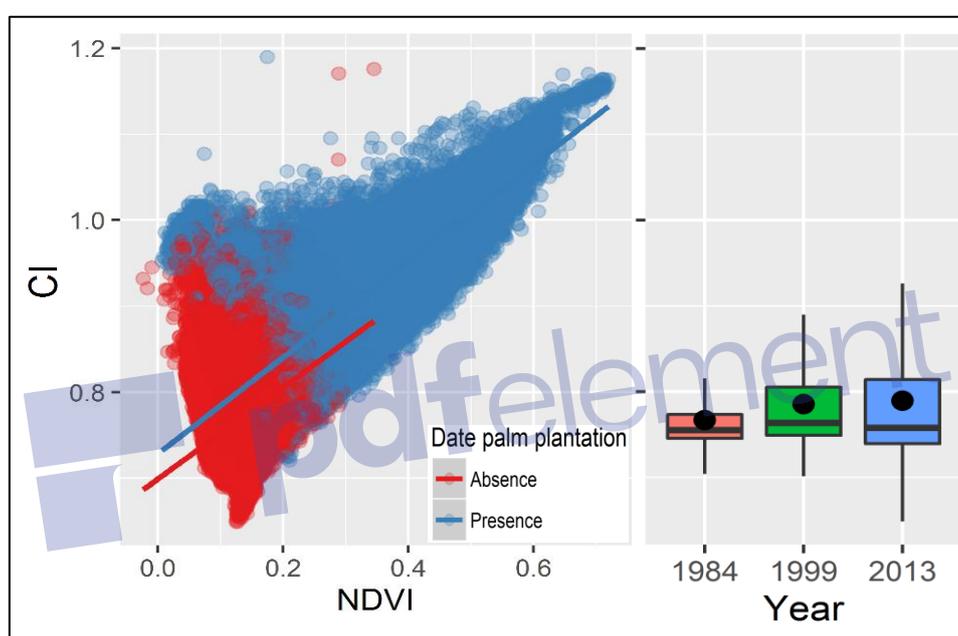


Figure 55. Relation entre CI et NDVI par présence / absence de PPD (à gauche) et changement de l'indice CI entre 1984, 1999 et 2013 (à droite). Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM). Les cercles pleins dans les boxplots indiquent les moyennes de CI.

Tableau 38. Résultats de la GLMM relatifs aux effets des variables 'Years', 'DPP' et 'NDVI' sur CI

Variabes	Valeur	Std. Erreur	DDL	t-théorique	p-valeur
Interception	0.689	4.2E-05	1979340	16220.21	<0.001
Année 1999	0.012	2.2E-05	1979340	551.06	<0.001
Année 2013	-0.016	2.5E-05	1979340	-642.30	<0.001
Présence de PPD	0.009	6.0E-05	1979340	150.75	<0.001
NDVI	0.639	2.8E-04	1979340	2253.10	<0.001

5.2.2.3. L'influence du NDVI et du DPP sur NDMI

La **Figure 53 g-i** illustre les sorties des cartes NDMI pour 1984, 1999 et 2013 dans la région du Ziban. Les valeurs de l'indice NDMI montrent une petite différence entre les trois années. En 1984, le NDMI atteint une moyenne de $-0,03 \pm 0,07$, puis augmente jusqu'à $-0,01 \pm 0,08$ en 1999 pour atteindre $-0,01 \pm 0,11$ en 2013. Le GLMM révèle que ces augmentations sont significatives entre les années. De plus, le modèle indique que la présence de PPD affecte positivement les valeurs de l'NDMI ($t = 53,40$, $P < 0,001$). Une relation positive significative ($P < 0,0001$) apparaît entre les valeurs de l'NDMI et de l'NDVI. Les valeurs de l'NDMI augmentent avec l'augmentation des valeurs de l'NDVI et vice versa. Les sorties de GLMM prouvent que les valeurs de l'NDMI augmentent de façon significative ($P < 0,0001$) avec l'augmentation des valeurs de l'NDVI, mais cette augmentation est plus élevée avec la présence de PPD que dans la zone où le PPD est absent (**Fig. 56 ; Tab. 39**). Globalement, les valeurs élevées de NDMI caractérisent les zones irriguées (présence de PPD), alors que les faibles valeurs NDMI caractérisent les zones non irriguées (absence de PPD). Les résultats du changement du NDMI sont semblables aux résultats de **Dedkov et Gunin (2014)**, ce qui a confirmé l'importance du contenu d'humidité de sol dans les zones d'oasis comparées aux habitats dénudés ou non-plantés dans le désert. Selon **Aldakheel (2011)**, le PPD demeure toujours vert avec des valeurs de NDVI élevées en raison de la disponibilité de l'eau (Irrigation), autrement dit, la végétation naturelle est apparue avec de faibles valeurs de NDVI en raison des conditions de stress hydrique dans les sols non irrigués. En outre, la structure dense de la canopée a une forte teneur en humidité par rapport à la structure de la canopée ouverte ou les habitats ouverts. Cela est principalement dû à l'ombre créée par les canopées qui réduit à la fois la température, l'évaporation, l'évapotranspiration ainsi que l'humidité du sol qui reste plus longtemps par rapport aux sols désertiques dénudés (**Assal et al., 2016**).

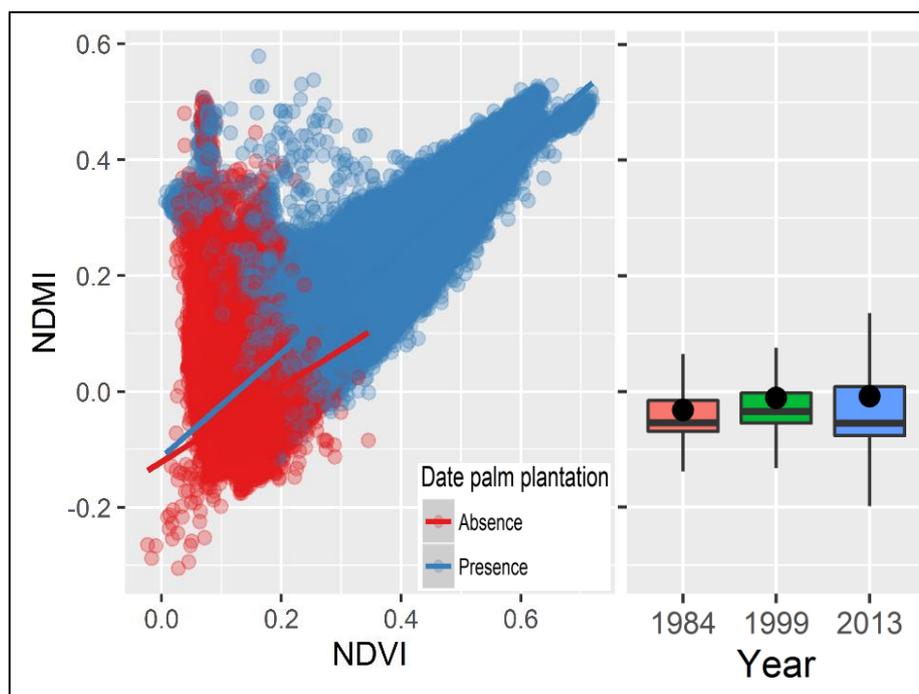


Figure 56. Relation entre NDMI et NDVI par présence / absence de PPD (à gauche), et changement de l'indice NDMI entre 1984, 1999 et 2013 (à droite). Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM). Les cercles pleins dans les boxplots indiquent les moyennes de NDMI.

Tableau 39. GLMM relatif au changement de l'NDMI sous l'effet des années, présence/absence du PPD, NDVI, et l'interaction `PPD*NDVI`

Variables	Valeur	Std. Erreur	DDL	t-théorique	p-valeur
Interception	-0.142	9.6E-05	1979339	-1478.11	<0.001
Année 1999	0.011	3.0E-05	1979339	370.10	<0.001
Année 2013	-0.034	3.7E-05	1979339	-912.16	<0.001
Présence de PPD	0.009	1.7E-04	1979339	53.40	<0.001
NDVI	0.890	7.7E-04	1979339	1155.54	<0.001
Présence de PPD × NDVI	0.082	8.3E-04	1979339	98.13	<0.001

5.2.2.4. Les effets du NDVI, PPD, et NDMI sur le SI-T

Les cartes SI-T des trois années (1984, 1999 et 2013) sont illustrées à la **figure 53 j-l**. Les valeurs de l'indice SI-T diminuent de façon significative ($P < 0,0001$) au cours des années d'étude, passant d'une moyenne de $78,47 \pm 6,00$ en 1984, à $77,20 \pm 8,85$ en 1999, afin d'atteindre $70,50 \pm 12,20$ en 2013. Les valeurs de SI-T diminuent aussi significativement avec la présence de PPD ($P < 0,0001$). En se référant aux résultats de GLMM, une relation négative

significative s'est produite entre les indices SI-T et NDVI ($P < 0,0001$). Les valeurs de SI-T diminuent et les valeurs de NDVI augmentent (**Fig. 57 ; Tab. 40**), mais cette diminution est significativement plus élevée lorsqu'elle est associée à la présence de PPD par rapport aux zones non plantées (Absence de PPD). En général, les zones ayant des valeurs élevées de l'indice SI-T sont occupées et recouvertes par les Sabkhas (lacs salins temporels), comme l'indiquent **Allbed et al. (2014a)**, ou des communautés de plantes halophytes (absence de PPD). Contrairement, les zones à faible valeurs de SI-T sont couvertes par des vergers de PPD. Le GLMM révèle que l'indice NDMI influence négativement ($P < 0,0001$) les valeurs de l'indice SI-T, et cette influence négative est également associée à la présence de PPD (**Fig. 58 ; Tab.41**). La relation négative entre le SI-T et le NDVI a été confirmée par l'étude d'**Aldakheel (2011)**, dans laquelle les valeurs élevées de NDVI sont considérées liées aux faibles valeurs de salinité d'eau d'irrigation dans la PPD. Les mêmes résultats ont été trouvés avec l'indice SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) (**Alhammadi et Glenn, 2008 ; Allbed et al., 2014a**). En outre, le DPP supporte un niveau élevé de salinité par rapport à d'autres plantations permanentes (**Yaish et Kumar, 2015**). Bien qu'un seuil de 4 dS / m soit fixé pour les effets de la salinité du sol sur le rendement du DPP (**King et Thomas, 2014**), le seuil de tolérance du palmier dattier contre le stress salin varie significativement entre les cultivars du palmier dattier (**Al-Abdoulhadi et al., 2011**). Les techniques modernes de pompage et la surexploitation des nappes aquifères ont entraîné la salinisation des aquifères d'eau douce et l'expansion de la salinité des sols, affectant négativement le PPD, et autres cultures associées (**Allbed et al., 2014b**). Le niveau de salinisation des sols dans le système d'oasis moderne est plus élevé que l'ancienne oasis due aux mauvaises pratiques d'irrigation (**Wang et al., 2008**). La relation opposée observée entre les indices SI-T et NDVI est liée à la différence des taux d'évaporation entre les différents paysages désertiques. Dans les zones cultivées, la structure des canopées du PPD a contribué à diminuer le niveau d'évaporation dans le sol irrigué sous les palmiers dattiers, et donc réduit le niveau de salinité (**Alam et Al Shaikh, 2013**). En revanche, dans les zones non cultivées, la salinité augmente dans les sols non irrigués en raison de la végétation dispersée et de l'évaporation qui dépassent habituellement les précipitations (**Howari et Goodell, 2009**).

Tableau 40. Modelage des effets des années, présence/absence de PPD, et NDVI sur le changement de l'indice SI-T

Variabes	Valeur	Std. Erreur	DDL	<i>t</i> -théorique	<i>p</i> -valeur
Interception	93.514	0.002	1979340	56386.11	<0.001
Année 1999	-0.031	0.001	1979340	-25.36	<0.001
Année 2013	-0.636	0.001	1979340	-495.63	<0.001
Présence de PPD	-1.398	0.003	1979340	-492.98	<0.001
NDVI	-122.563	0.013	1979340	-9774.3	<0.001

Tableau 41. GLMM relatif aux effets de présence/absence de PPD, et l'NDMI sur le changement de l'indice SI-T

SI-T	Valeur	Std. Erreur	DDL	<i>t</i> -théorique	<i>p</i> -valeur
Interception	75.717	0.004	1979342	21115.37	<0.001
Présence de PP	-11.863	0.012	1979342	-958.13	<0.001
NDMI	-64.401	0.047	1979342	-1372.12	<0.001

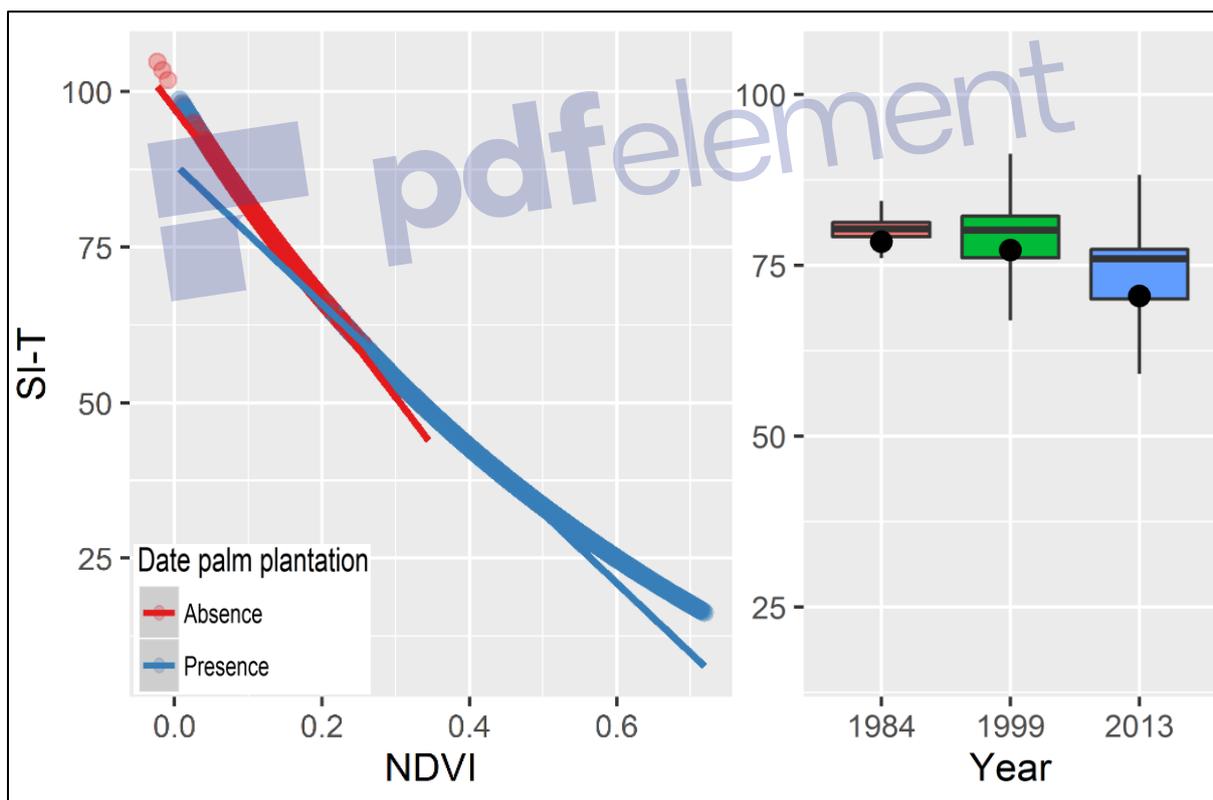


Figure 57. Relation entre SI-T et NDVI par présence / absence de PPD (à gauche), et changement de l'indice SI-T entre 1984, 1999 et 2013 (à droite). Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM). Les cercles pleins dans les boxplots indiquent les moyennes de SI-T.

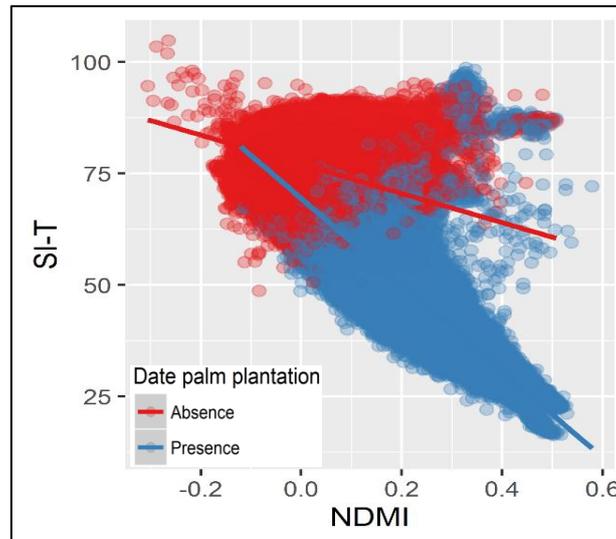


Figure 58. Relation entre SI-T et NDMI par présence / absence de PPD. Les lignes représentent une régression linéaire avec un modèle linéaire généralisé (GLM).

5.2.2.5. Les plantations de palmier dattier comme ceinture refuge contre la désertification

Dans l'ensemble, la zone cultivée avec PPD ont les valeurs de NDVI, de NDMI et de CI les plus élevées, mais aussi les valeurs de SI-T les plus faibles. À l'inverse, les zones non cultivées (communautés désertiques) ont des valeurs NDVI, NDMI et CI plus faibles à l'opposé des valeurs SI-T pendant la période étudiée. Les variations des valeurs de NDVI, de NDMI, de SI-T et de CI dans le PPD sont dues à l'effet des cultivars, de l'âge et de la densité des plantation des palmiers dattiers. D'une part, les vieux vergers de PPD se caractérisent par des arbres âgés, une diversité variétale élevée et une densité élevée en raison de la faible distance entre les pieds de palmiers dattiers, qui sont inter-plantées avec divers arbres fruitiers (Figue, vigne, citron, grenade...); et d'autre part, les plantations de palmiers modernes se caractérisent par de jeunes plantations, une faible diversité variétale, principalement dominée par le cultivar Deglet-Noor (monoculture), et la faible densité d'arbres due au grand espacement entre les arbres. D'après **Bouzaher et Alkama (2013)**, les agriculteurs de la zone d'étude utilisent habituellement deux types de distance entre les arbres ($7\text{m} \times 7\text{m}$ et $5\text{m} \times 5\text{m}$), mais le modèle 5×5 a été révélé plus approprié selon les conditions de la zone d'étude. **Al-Barrak (1990)** a montré que le palmier dattier améliore la fertilité du sol en termes de carbone organique par rapport au sol non cultivé (sans PPD). De plus, le palmier dattier est l'une des

cultures les plus adaptées aux conditions édaphiques des régions chaudes désertiques (**Kawy et El-Magd, 2013**), étant donné les multiples mécanismes de tolérance qu'il possède (**Arab et al., 2016**). Par ailleurs, **Cherif et al. (2015)** ont signalé que les communautés endophytes des racines du palmier dattier renforcent la tolérance des espèces contre les conditions de stress dû à la sécheresse. Suite à ce qui précède, les plantations du palmier dattier interviennent représentent comme ceinture refuge contre l'exacerbation de la désertification dans les zones arides, tout en fournissant des services agricoles et écologiques essentiels aux populations humaines habitant les zones arides.

5.3. La modélisation des sites propices à la phoeniciculture dans la région de Biskra par le SIG

5.3.1. La carte d'occupation du sol

La carte d'occupation du sol réalisée à partir de scène Landsat a séparé 8 classes par ordre décroissant : sol nus et affleurement rocheux (291279,33 Ha), groupement à halophytes (84166,38 Ha), groupement à remt (77190,57 Ha), édifice sableux (41213,7 Ha), palmeraie (15108,3 Ha), groupement à psammophytes (12479,67 Ha) et agglomération avec 7094,7 Ha (**Fig. 59 et Tab. 42**). D'après **Bouguedoura et al. (2015)** (1ha = 120 pieds de palmier dattier), donc le nombre du sujet de palmier dattier dans la région d'étude est estimé à 1812996 pieds. Les plantations du palmier dattier supportent un niveau élevé de salinité par rapport aux autres plantations permanentes (**Yaish et Kumar, 2015**).

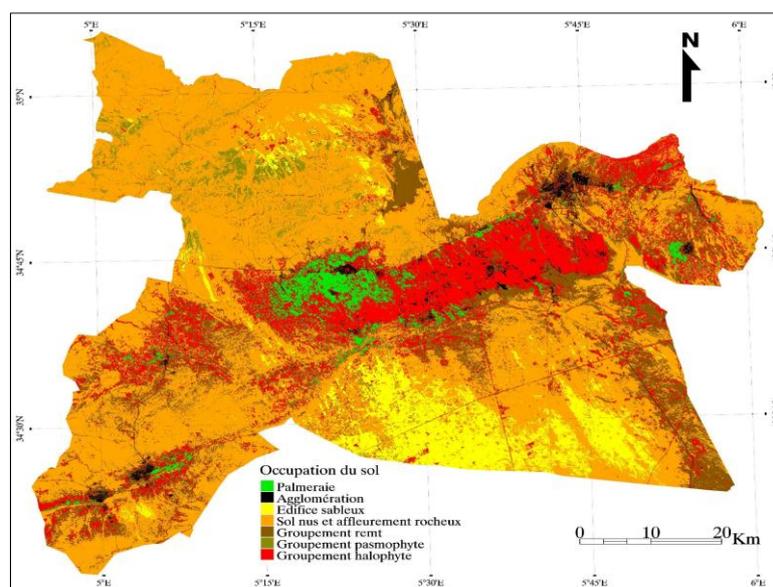


Figure 59. Carte d'occupation du sol.

Tableau 42. Statistiques des classes de végétation

Classes	Pixels	Superficies (Ha)	Pourcentage (%)
Palmeraie	167870	15108,3	2,86
Agglomération	78830	7094,7	1,35
Edifice sableux	457930	41213,7	7.81
sol nus et affleurement rocheux	3236437	291279,33	55.22
groupement à remt	857673	77190,57	14.63
groupement à psammophytes	138663	12479,67	2.37
groupement à halophytes	935182	84166,38	15.96
Superficie totale	5872585	528532.65	100

En premier lieu, l'analyse de la matrice de confusion, nous a permis de calculer le coefficient Kappa pour évaluer la qualité des résultats (Chikhaoui et al., 2010). Cet indice évalue l'accord entre les résultats obtenus et la vérité sur le terrain. Il s'étend de 0 à 1 et il se divise en cinq catégories : accord très faible de 0 à 0,20, accord faible de 0,21 à 0,40, accord modéré de 0,41 à 0,60, accord substantiel de 0,61 à 0,80 et accord presque parfait de 0,81 à 1 (Blum et al., 1995). La précision globale et le coefficient Kappa excèdent l'exactitude de 90% (Tab. 43), ce qui indique une très bonne classification.

Tableau 43. Matrice de Confusion de la classification supervisée de la région d'étude

Classes	Palmeraie	Agglomeration	Edifice sableux	Sol nus et affleurement rocheux	Groupement à remt	Groupement à psammophyte	Groupement à halophyte	Total
Palmeraie	657	0	0	0	0	0	0	657
Agglomération	0	192	0	0	23	0	0	287
Edifice sableux	0	0	337	0	0	0	72	337
Sol nus et affleurement rocheux	0	0	3	525	27	1	0	556
Groupement à remt	0	3	0	11	842	0	0	856
Groupement à psammophyte	0	0	0	37	0	248	0	285
groupement à halophyte	0	2	0	0	3	0	444	449
Totale	657	197	340	573	895	249	516	3427
Coefficient Kappa (%)	0,9361							
Précision globale	94,6892							

5.3.2. La carte pédologique

La **figure 60** montre une dominance claire de classe 1 avec 384361 Ha, suivie par la classe 3 (107903 Ha), et la classe 1 qui représente 35807 Ha. En général, la carte des principales unités pédologiques est considérée un facteur physique déterminant pour la mise en place de la zone d'étude. Ces principales unités identifiées permettent d'appréhender le concept de remembrement des espaces et de leur vocation. Les palmiers dattiers sont cultivés avec succès dans plusieurs types de sol (Sols sablonneux, sableux argileux, argileux et lourds), mais nécessitent un bon drainage du sol et l'aération (**Khierallah et al., 2015 ; Bekheet et El-Sharabasy, 2015**). Les sols les plus adéquats aux cultures du palmier dattier sont généralement alluviaux et squelettiques avec des dépôts de sable éolien sur les piedmonts, les vallées et les plaines (**Sedra, 2015 ; Daher et al., 2015**). Il a été même soutenu par **Aleid et al. (2015)** et **Krueger (2015)** que le palmier dattier pousse et donne le meilleur rendement sur des sols relativement légers, profonds et qui retiennent l'eau tout en permettant un drainage suffisant.

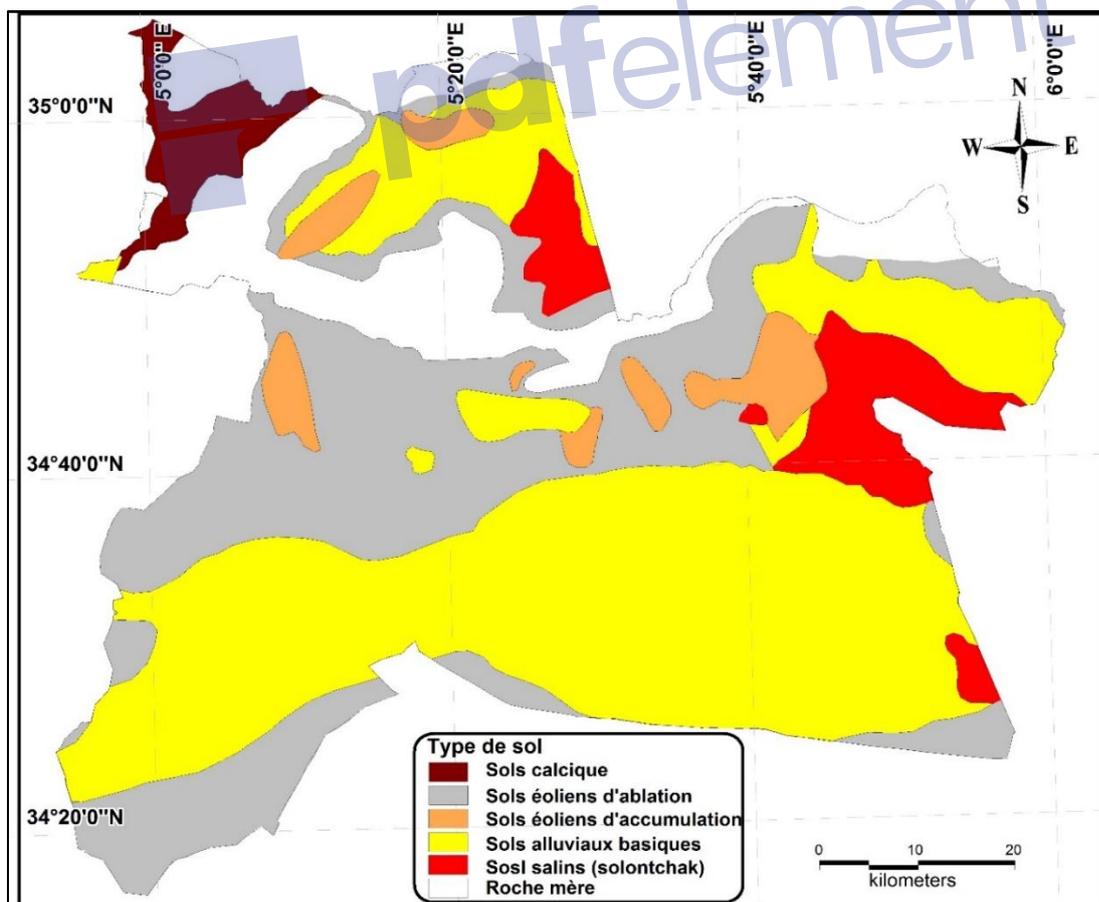


Figure 60. Carte pédologique.

5.3.3. La carte de la salinité

Les résultats d'analyse thématique (Natural Break) des valeurs de l'indice de salinité NDSI montrent la dominance de la classe 1 ou les valeurs de NDSI oscillent entre -0,13 à 0,88 avec 1777714,65 Ha, suivie par la classe 3 avec 264709 Ha (-0,16 à -0,13). La classe 3 (-0,16 à -0,13) occupent une superficie du 60709 Ha. La dernière classe 1 (-0,68 à - 0,25) est faiblement représentée avec 25400 Ha (**Fig. 61**). En général, les régions avec des valeurs élevées de salinité sont occupées par des Sebkhhas comme il a été signalé par **Allbed et al. (2014a)** ou des groupements halophytiques. Le seuil de la tolérance de palmier dattier contre le stress salin est variable entre les cultivars (**Al-Abdoulhadi et al., 2011**). En général, le seuil de tolérance de PPD vis à vis la salinité est de 4 dS/m (salinité de sol) (**King et Thomas, 2014**). Cependant, les techniques de pompage modernes et la surexploitation des nappes aquifères d'eau ont provoqué la salinisation de ces dernières et l'expansion de la salinisation du sol, qui affectent négativement les plantations du palmier dattier et d'autres récoltes associées (**Allbed et al., 2014b**). Selon **Wang et al. (2008)**, le niveau de la salinisation de sol dans le système moderne d'oasis s'avère plus élevé que dans la vieille oasis à cause des mauvaises pratiques d'irrigation, entraînant une réduction du nombre de palmiers et du rendement en fruits (**Bouguedoura et al, 2015**).

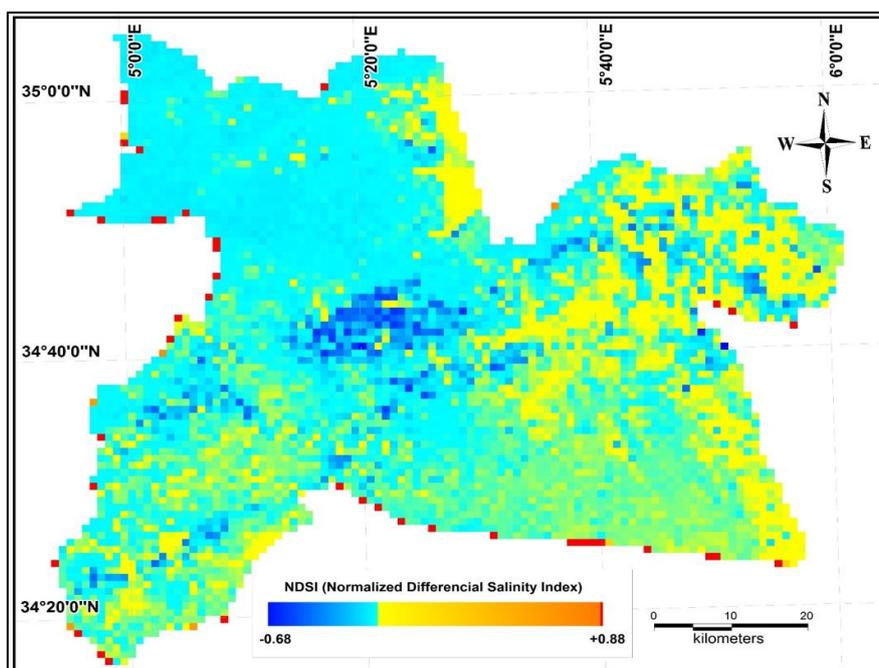


Figure 61. Carte de la salinité.

5.3.4. La carte des zones propices pour la phoeniciculture

La majorité de la superficie de la zone d'étude est classée comme très faible (340721 Ha), suivie par les deux classes à capacité moyenne et élevée à la phoeniciculture avec respectivement 116836 Ha et 49584 Ha. La classe faible est maigrement représentée avec seulement 20764 Ha (**Tab. 44 et Fig. 62**).

Tableau 44. Statistique des classes d'aptitude de la terre à la phoeniciculture

Classes	Caractéristiques	Superficies (Ha)
1	Elevé	49584
2	Moyenne	116836
3	Faible	20764
4	Très faible	340721

En général, la classe élevée ou la terre est plus propice à la culture du palmier dattier correspond aux communes suivantes, par ordre décroissant de nombre de pieds de palmier dattier dans la région d'étude : Sidi-Okba, Tolga, Lioua, El Hadjeb, Ouled Djellal, Mlili, Oumache, Mekhadma, Doucen, Oughlal, Biskra, El Ghrous, Bordj Ben Azzouz, Lichana, Chetma, Foughala, Sidi-Khaled et Bouchagroun (**DPAT., 2013**). En général, la classe élevée et moyenne occupent les plaines et les dépressions (Partie centrale de la région d'étude), où la qualité du sol et de la salinité sont les plus appropriés à la phoeniciculture. Cependant, les deux classes faible et très faible diffusent dans la partie Sud et Nord (Montagnes et hautes plateaux, bas plateaux), dont les conditions de qualité du sol et de salinité sont moins appropriées à la culture de l'espèce du palmier dattier (haut degré de salinité avec un déficit des éléments nutritifs dans le sol). De plus, la présente répartition des terres concernant leur aptitude à acquérir les plantations de palmier dattier est liée aussi à la présence ou à l'absence des facteurs biotiques, abiotiques. Dans les régions plantées par le palmier dattier, la structure de la canopée a un effet positif en diminuant le niveau d'évaporation dans le sol irrigué sous les arbres, ce qui réduit le niveau de salinité (**Alam et AlShaikh, 2013**) et augmente le taux de fertilité du sol (**AI-Barrak, 1990**). La répartition dispersée des végétaux sahariens et l'évaporation qui excède habituellement les précipitations dans les régions arides augmentent en général la salinité de sol de plus en plus dans les sols non irrigués (non cultivées) (**Howari et Goodell, 2009**), d'où la dégradation de la couverture végétale et la structure du sol.

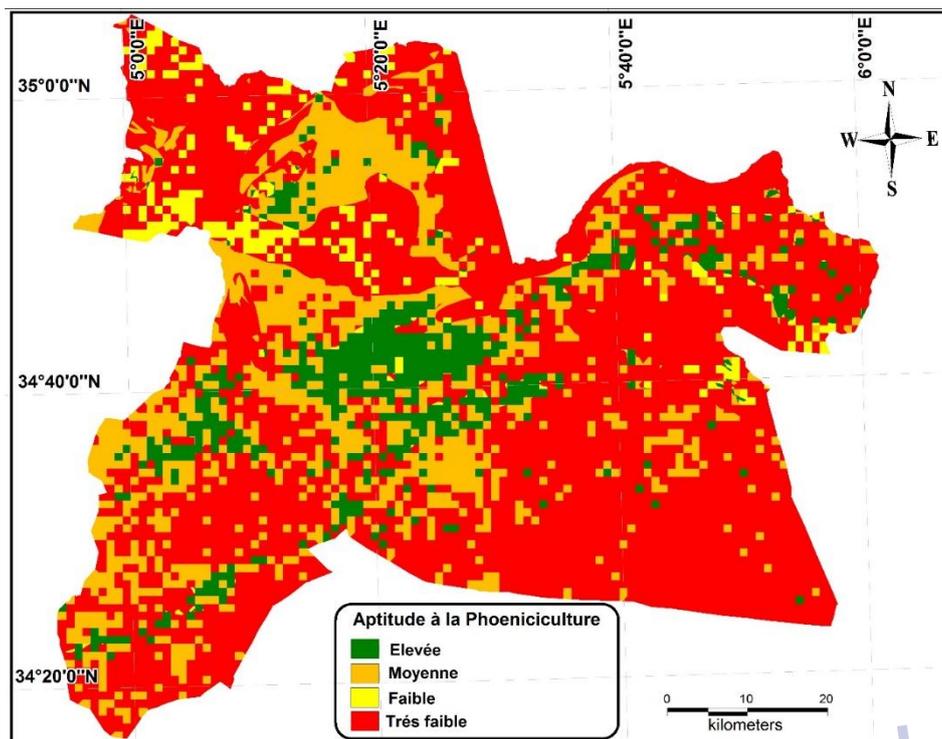


Figure 62. Carte des zones propices pour la phoeniciculture.

5.4. Traits fonctionnels des espèces végétales dans l'écosystème oasien dans la région de Biskra (Algérie Sud)

5.4.1. Composition floristique

À travers les 40 relevés floristiques effectués (**Tab. 45**), 76 espèces ont été recensées appartenant à 35 familles. Les Asteraceae sont les plus présentes avec un taux de 15,79 %, suivie par celle des Poaceae avec 13,16%, puis les Chénopodiaceae avec 07,98%. Les Brassicaceae et les Fabaceae représentent un taux de 6,58 % et les Apiaceae (3,95). Les Boraginaceae, les Caryophyllaceae, les Plantaginaceae, les Plumbaginaceae, les polygonaceae, et les Zygophyllaceae contribuent avec 2,63 %. Le reste des familles : Aizoaceae, Arecaceae, Asclepiadaceae, Capparidaceae, Cistaceae, Convulvulaceae, Cucurbitaceae, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Geraniaceae, Liliaceae, Lythraceae, Malvaceae, Moraceae, Oboraganchaceae, Primulaceae, Resedaceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Rutaceae, Solanaceae, Tamaricaceae et Thymeleaceae représente un pourcentage inférieur à 2 %. Les familles les plus représentatives dans la région d'étude (Asteraceae, Poaceae, et Chénopodiaceae) correspondent à une structure floristique méditerranéenne et nord-africaine typique (**Quézel, 1978**). Les résultats obtenus sont similaires aux résultats trouvés par **Diab**

(2015 ; 2016) et Moussi (2011) qui ont inventorié respectivement 281 espèces appartenant à 47 familles botaniques et 61 espèces appartenant à 28 familles botaniques, avec la dominance des familles des Asteraceae, des Poaceae et des Chenopodiaceae. La présence des Poaceae reflète la grande compétition sur les ressources hydriques (Barralis et al., 1992). La famille des Chenopodiaceae est connue par être résistante à la salinité, la sécheresse et les conditions défavorables (McCue et Hanson, 1990.) Quant à la fréquence, l'espèce *Malva aegyptiaca* est la plus fréquente (Occ=100 %) dans la région d'étude, suivie successivement par *Erodium triangulare* (Occ=70%) puis *Sinapis arvensis* et *Sinapis alba* (Occ=55%). En plus, l'occurrence de *Phoenix dactylifera*, *Launaea glomerata*, *Launaea mucronata*, *Sonchus olearaceus*, *Moricetia arvensis*, *Astragalus armatus*, *Aeluropus littorali*, et *Aristida acutiflora* dans les divers relevés est rare avec une occurrence entre 22,5 % et 40 %. Les 62 autres espèces ont des présences très rares et une occurrence entre 2,25 et 20 %. C'est le cas de *Mesembryanthemum nodiflorum*, *Daucus carota*, *Ferula vesceritensis*, *Pituranthos chloranthus*, *Pergularia tomentosa*, *Aster squamantus*, *Atractylis carduus*, *Atractylis serretuloides*, *Conyza cetensis*, *Echinops spinosus*, *Launaea resedifolia*, *Senecio vulgaris*, *Silybium marianum*, *Taraxacum dens-leonis*, *Echium humile*, *Megastoma pusillum*, *Farsetia aegyptiaca*, *Malcolmia aegyptiaca*, *Cleome africana*, *Paronychia arabica*, *Spergula flaccida*, *Atriplex halimus*, *Beta vulgaris*, *Chenopodium murale*, *Atriplex dimorphostegia*, *Hamada scoparia*, *Suaeda fruticosa*, *Helianthemum lippii*, *Convolvulus arvensis*, *Colocynthis vulgaris*, *Cyperus rotundus*, *Euphorbia helioscopia*, *Astragalus gyzensis*, *Medicago arabica*, *Melilotus indica*, *Vicia sativa*, *Asphodelus tenuifolius*, *Punica granatum*, *Ficus carica*, *Cistanche tinctoria*, *Plantago ciliate*, *Plantago lanceolata*, *Limoniastrum guyonianum*, *Limonium delicantilum*, *Avena fatua*, *Bromus rubens*, *Cutetia dichtoma*, *Cynodon dactylon*, *Hordeum murinum*, *Imperata cylindrical*, *Phragmites communis*, *Emex spinosa*, *Rumex vesicarius*, *Anagallis arvensis*, *Reseda alba*, *Ziziphus lotus*, *Vitis vinifera*, *Citrus limon*, *Solanum nigrum*, *Tamarix articulate*, *Peganum harmala*, et *Zygophyllum album* (Tab. 45). D'après Ozenda (2004), la phytocénose oasienne comprend d'une part des plantes sahariennes adaptées à ces habitats et d'autre part des espèces adventices qui ont été accidentellement introduites par l'homme. L'hétérogénéité et la faible occurrence des espèces (62 espèces ont une occurrence très rare) est due d'après Gounot (1969) aux perturbations d'origine anthropique (défrichement, labour, fertilisation, traitements phytosanitaire) et climatique qui ne permettent qu'à quelques plantes de s'installer en abondance. Les autres

sont extrêmement clairsemées. En conséquence, elles ont une fréquence très faible dans les relevés et forment des groupes bien définis écologiquement mais non extractibles. En général, et dans ans les oasis beaucoup des mauvaises herbes annuelles susceptibles d'être arrivées en raison de l'intensification de l'agriculture et de la construction de routes (El-Saied et al., 2015). D'après Neffar et al. (2013), les différents traits et les stratégies compétitives des espèces végétales expliquent la différence dans le taux et l'échelle d'occurrence de ces dernières.

Tableau 45. La liste systématique des espèces végétales inventoriées de la région d'étude avec la fréquence, l'indice et la classe d'occurrence (I= espèce très rare, II=espèce rare, III=espèce fréquente, IV=espèce abondante, V=espèce très abondante)

Famille (RA%) Espèce	Codes	Occurrence (%)	Classe d'Occurrence
Aizoaceae (1,32) <i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L.	Mese	7,5	I
Apiaceae (3,95) <i>Daucus carota</i> L. <i>Ferula vesceritensis</i> Coss. et Dur. ex Batt <i>Pituranthos chloranthus</i> Coss. et Dur. Schinz.	Dauc Feru Pitu	10 2,5 5	I I I
Areaceae (1,32) <i>Phoenix dactylifera</i> L.	Phoe	22.5	II
Asclepiadaceae (1,32) <i>Pergularia tomentosa</i> L.	Perg	5	I
Asteraceae (15,79) <i>Aster squamantus</i> Hier. <i>Atractylis carduus</i> (Forssk.) C. Chr. <i>Atractylis serretuloides</i> Sieber ex Cass. <i>Conyza cetensis</i> (L.) Cronquist, Bull. <i>Echinops spinosus</i> Bove ex DC. <i>Launaea glomerata</i> (Cass.) Hook <i>Launaea mucronata</i> (Forssk.) Muschl <i>Launaea resedifolia</i> (L.) O. Kuntze. <i>Senecio vulgaris</i> L. <i>Silybium marianum</i> L. <i>Sonchus olearaceus</i> L. <i>Taraxacum dens-leonis</i> Desf.	Aste Atracar Atraser Cony Echi Launglo Launmuc Launres Sene Silyb Sonc Tara	10 2,25 5 12,5 7,5 37,5 35 2.5 15 15 35 10	I I I I I II II I I I II I
Borraginaceae (2,63) <i>Echuim humile</i> Desf. <i>Megastoma pusillum</i> Coss et dur. ex	Echu Mega	10 10	I I
Brassicaceae (6,58) <i>Farsetia aegyptiaca</i> Turra <i>Malcolmia aegyptiaca</i> Spr. <i>Moricetia arvensis</i> (L.) DC. <i>Sinapis arvensis</i> L. <i>Sinapis alba</i> L.	Fars Malc Mori Sinaarv Sinaalb	5 7,5 40 55 55	I I II III III
Capparidaceae (1,32) <i>Cleome Africana</i> Botsch	Cleo	5	I

Caryophyllaceae (2,63) <i>Paronychia Arabica</i> (L.) DC. <i>Spergula flaccida</i> (Roxb.) Asch.	Paro Sper	10 5	I I
Chenopodiaceae (7,89) <i>Atriplex halimus</i> L. <i>Beta vulgaris</i> L. <i>Chenopodium murale</i> L. <i>Atriplex dimorphostegia</i> Kar. et Kir. <i>Hamada scoparia</i> (Pomel) Iljin <i>Suaeda fruticosa</i> Forssk.	Atrihal Beta Chen Atridim Hama Sued	17,5 12,5 12,5 5 5 15	I I I I I I
Cistaceae (1,32) <i>Helianthemum lippii</i> (L.) Dum. Cours.	Heli	20	I
Convulvulaceae (1,32) <i>Convolvulus arvensis</i> L.	Conv	15	I
Cucurbitaceae (1,32) <i>Colocynthis vulgaris</i> (L.) Schrad	Colo	2,5	I
Cyperaceae (1,32) <i>Cyperus rotundus</i> L.	Cype	7,5	I
Euphorbiaceae (1,32) <i>Euphorbia helioscopia</i> L.	Euph	5	I
Fabaceae (6,58) <i>Astragalus armatus</i> Willd. <i>Astragalus gyzensis</i> Bunge. <i>Medicago Arabica</i> (L.) All. <i>Melilotus indica</i> L. <i>Vicia sativa</i> L.	Astrarm Astrgyz Medi Meli Vici	25 7,5 17,5 10 7,5	II I I I I
Geraniaceae (1,32) <i>Erodium triangulare</i> (Forssk.) Muschler.	Erod	70	IV
Liliaceae (1,32) <i>Asphodelus tenuifolius</i> Cav.	Asph	12,5	I
Lythraceae (1,32) <i>Punica granatum</i> L.	Puni	5	I
Malvaceae (1,32) <i>Malva aegyptiaca</i> L.	Malv	100	V
Moraceae (1,32) <i>Ficus carica</i> L.	Ficu	10	I
Oboraganchceae (1,32) <i>Cistanche tinctoria</i> (Forssk.) beck	Cist	5	I
Plantaginaceae (2,63) <i>Plantago ciliate</i> Desf. <i>Plantago lanceolata</i> L.	Plancil Planlan	20 10	I I
Plumbaginaceae (2,63) <i>Limoniastrum guyonianum</i> Dur. <i>Limonium delicantilum</i> (de Girard) Kuntze	Limoguy Limodeli	10 10	I I
Poaceae (13,16) <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl. <i>Aristida acutiflora</i> Trin. et Rupr. <i>Avena fatua</i> L. <i>Bromus rubens</i> L. <i>Cutetia dichtoma</i> (Forssk.) Trab. <i>Cynodon dactylon</i> L. <i>Hordeum murinum</i> L. <i>Imperata cylindrical</i> (L.) P.E.	Aelu Aris Aven Brom Cuta Cyno Hord Impe	35 35 5 10 7,5 15 17,5 10	II II I I I I I I

<i>Phragmites communis</i> Trin.	Phra	10	I
Polygonaceae (2,63)			
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd	Emex	10	I
<i>Rumex vesicarius</i> L.	Rume	7,5	I
Primulaceae (1,32)			
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Anag	10	I
Resedaceae (1,32)			
<i>Reseda alba</i> L.	Rese	2,5	I
Rhamnaceae (1,32)			
<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.	Zizy	2,5	I
Rosaceae (1,32)			
<i>Vitis vinifera</i> L.	Viti	10	I
Rutaceae (1,32)			
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm.f.	Citr	5	I
Solanaceae (1,32)			
<i>Solanum nigrum</i> L.	Sola	7,5	I
Tamaricaceae (1,32)			
<i>Tamarix articulata</i> Vahl.	Tama	15	I
Thymeleaceae (1,32)			
<i>Thymelaea virgate</i> Desf.	Thym	20	I
Zygophyllaceae (2,63)			
<i>Peganum harmala</i> L.	Pega	10	I
<i>Zygophyllum album</i> L.	Zygo	42,5	I

La figure 63 montre la variation du taux de recouvrement entre les 12 stations étudiées. Le taux de recouvrement atteint sa valeur maximale dans les deux stations avec respectivement 90% dans la Palmeraie 1 et 93% dans la Palmeraie 2. En revanche, les valeurs minimales sont observées dans les stations Décombe 1 avec 10% et Décombe 2 avec 8%. En général, le taux de recouvrement dans le reste des stations est par ordre d'importance décroissante : Serre 1(40%), Serre 2 (35%), Voisinage de route 1 (30%), Voisinage de route 2 (25%), Friche 1 (19%), Friche (18%), Jachère 1 (13%) et Jachère 2 (11%). D'après Yang et al. (2006), la perturbation de la couverture végétale est le premier indicateur visible du processus de la désertification.

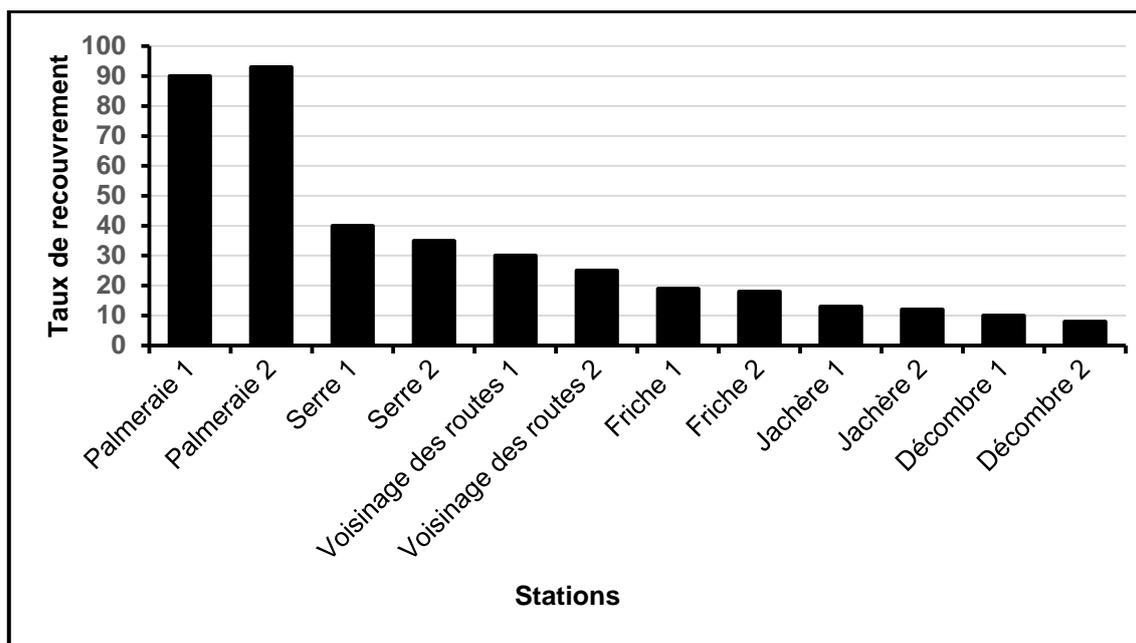


Figure 63. Variation du Taux de recouvrement dans les 12 stations.

5.4.2. Les Richesse, Indice de diversité et d'équitabilité

Dans les 40 relevés de chaque station, les valeurs les plus élevées de la biodiversité sont enregistrées dans les stations Palmeraie 1 ($S=25$, $H'1=2,08$, $H_{\max}=4,64$, $E=0,45$), et Palmeraie 2 ($S=34$, $H'1=2,32$, $H_{\max}=5,09$, $E=0,46$), suivie par les stations Serre 2 et 1, Voisinage des routes 2 et 1, et F1, tandis que les plus faibles valeurs sont observées dans les stations Décombe 1, Friche 1, Jachère 2, Décombe 2, Friche 2 (**Tab. 46**). La biodiversité en termes de : Richesse, Shannon-Weaver, Hmax et Equitabilité est très importante au niveau des écosystèmes oasiens (**Gebauer et al., 2007 ; Norfolk et al., 2013 ; Benaoun et al., 2014**), par rapport aux végétations désertiques naturelles hétérogènes, et dispersées (**Norfolk et al., 2013**). Cette grande diversité était due à l'abondance des sources d'eau, à la fertilité des sols (**El-Ghani et El-Sawaf, 2004 ; Alshammari et Sharawy 2010**). De plus, **Benaoun et al. (2014)** ont rapporté que l'indice de diversité de Shannon-Weaver est négativement corrélé avec le nombre d'espèces. En raison de la croissance verticale de palmier dattier, les palmes jouent un rôle de base en maintenant un microclimat approprié pour l'agriculture saharienne et un abri pour plusieurs espèces floristiques et faunistique (**De Grenade, 2013**).

Tableau 46. Richesse spécifique, diversité maximale et indices de Shannon et d'équitabilité de la région d'étude (P= Palmeraie, J=Jachère, F=Friche, V=voisinage de routes, D= Décombe, S=Serre).

Zone	Zone 1						Zone 2					
	P1	J1	F1	V1	D1	S1	P2	J2	F2	V2	D2	S2
Richesse	25	12	11	15	12	15	34	4	5	9	4	13
Shannon (H')	2,08	0,93	1,14	1,42	0,97	1,67	2,32	0,55	0,40	1,45	0,43	1,80
Hmax	4,64	3,58	3,46	3,91	3,58	3,91	5,09	2,00	2,32	3,17	2,00	3,70
E	0,45	0,28	0,33	0,36	0,27	0,57	0,46	0,27	0,17	0,45	0,21	0,49

5.4.3. Les résultats obtenus par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) espèce-relevé

Les deux premiers axes F1 et F2 de l'AFC englobent 34,31% de la variance totale du nuage de points avec des contributions partielles respectives de 19,54% et 14,77%. Cette valeur relativement suffisante pour la discrimination des axes factoriels de ce type d'AFC. L'analyse des deux plans factoriels Axe1 et Axe2, nous a permis de distinguer trois ensembles (Fig. 64).

Ensemble A est situé à droite de la projection. Il est composé de : *Aeluropus littoralis*, *Anagallis arvensis*, *Aristida acutiflora*, *Asphodelus tenuifolius*, *Aster squamantus*, *Astragalus gyzensis*, *Avena fatua*, *Beta vulgaris*, *Cutetia dichtoma*, *Cistanche tinctoria*, *Conyza cetensis*, *Atriplex dimorphostegia*, *Cynodon dactylon*, *Daucus carota*, *Echinops spinosus*, *Euphorbia helioscopia*, *Hordeum murinum*, *Imperata cylindrical*, *Limonium delicantilum*, *Malcolmia aegyptiaca*, *Medicago Arabica*, *Megastoma pusillum*, *Melilotus indica*, *Mesembryanthemum nodiflorum*, *Phragmites communis*, *Plantago lanceolata*, *Poa triviialis*, *Reseda alba*, *Rumex vesicarius*, *Senecio vulgaris*, *Solanum nigrum*, *Sonchus olearaceus*, *Spergula flaccida*, *Tamarix articulata*, *Taraxacum Dens-Leonis*, *Thymelaea virgata*, *Vicia sativa*, *Phoenix dactylifera*, *Vitis vinifera*, *Citrus limon*, *Punica granatum* et *Ficus carica*.

Ensemble B est situé à gauche de la projection avec les espèces sont : *Astragalus armatus*, *Atractylis carduus*, *Atractylis serretuloides*, *Atriplex halimus*, *Bromus rubens*, *Cleome africana*, *Colocynthis vulgaris*, *Echuim humile*, *Farsetia aegyptiaca*, *Ferula vesceritensis*, *Hamada scoparia*, *Helianthemum lippii*, *Launaea resedifolia*, *Paronychia arabica*, *Peganum harmala*, *Pergularia tomentosa*, *Pituranthos chloranthus*, *Plantago ciliata*, *Suaeda fructicosa* et *Ziziphus lotus*.

Ensemble C représente les espèces communes. Elles forment sur les cartes factorielles les espèces du nuage central. Il regroupe *Chenopodium murale*, *Convolvulus arvensis*, *Cyperus rotundus*, *Emex spinosa*, *Erodium triangulare*, *Launaea glomerata*, *Launaea mucronata*, *Limoniastrum guyonianum*, *Malva aegyptiaca*, *Moricetia arvensis*, *Silybium marianum*, *Sinapis arvensis*, *Sinapis alba* et *Zygophyllum album*. D'après **Ozenda (2004)**, deux groupements de végétaux sont observés au niveau des oasis : les groupements rudéraux (occupant les décombres ou le voisinage des habitants) et les groupements messicoles (c'est-dire-accompagnant les cultures). Don, il y a deux groupements des végétaux bien distincts : le groupement messicole (**Ensemble A**) et le groupement rudéral (**Ensemble B**). Ces types de groupements sont, d'après **Gounot (1969)**, relativement restreint mais écologiquement très diversifiés.

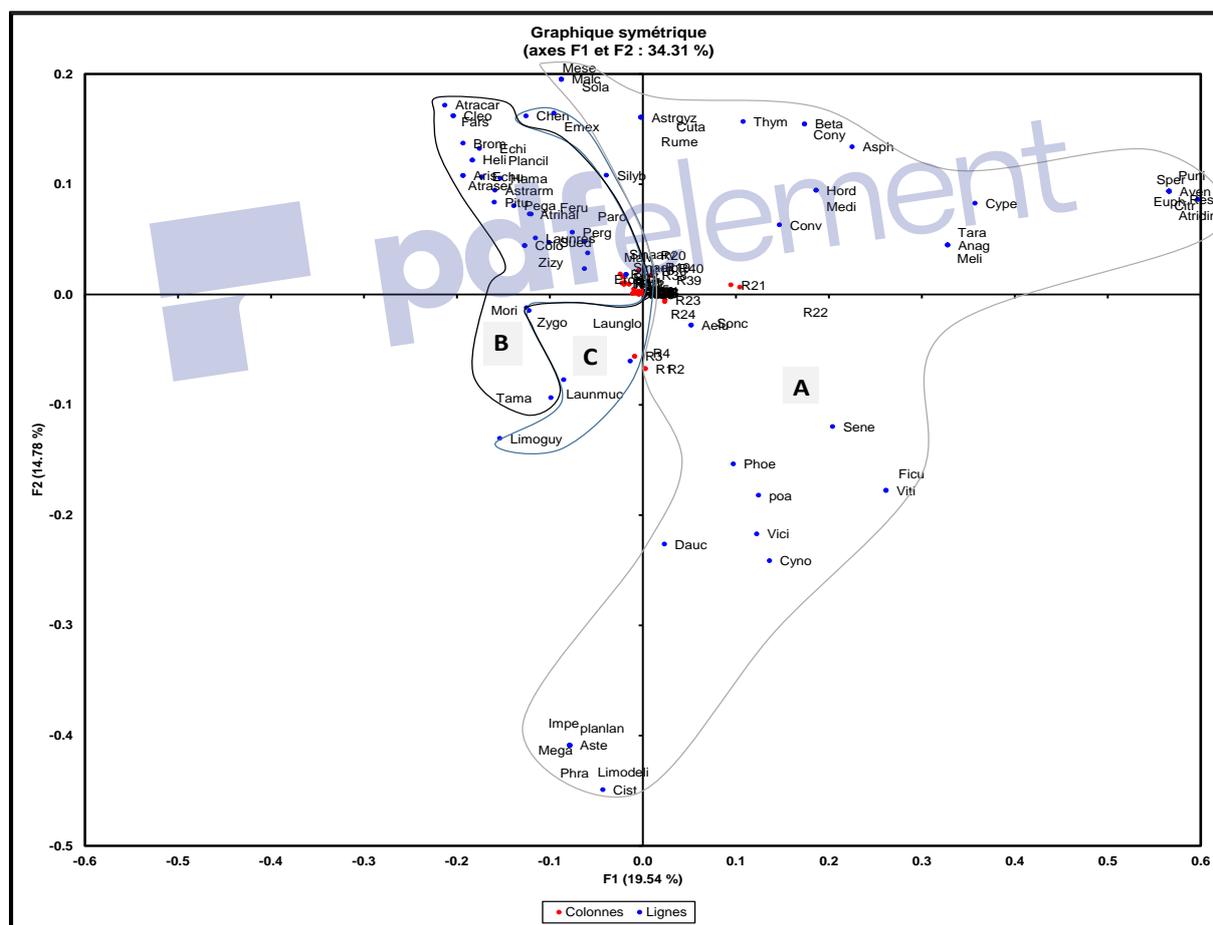


Figure 64. Carte factorielle des espèces selon les axes 1 et 2, analyse par présence-absence.

5.4.4. Les traits fonctionnels

Selon **Wa Ilunga et al. (2015)**, seulement les espèces de plantes avec les traits appropriés qui sont aptes à s'adapter, à coloniser et à prédominer dans les habitats aux conditions environnementales extrêmes.

5.4.4.1. Les types morphologiques

Les espèces éphémères dominent dans les 12 stations avec 77,63 % contre 22,37 % d'espèces vivaces (**Fig. 65**). Selon leur mode d'adaptation à la sécheresse, les plantes sahariennes sont divisées en deux catégories ; Les plantes éphémères (n'apparaissant qu'après la période des pluies et effectuent tout leur cycle végétatif avant que le sol ne soit desséché. La longueur de ce cycle est très variable d'une espèce à l'autre et dure généralement de un à quatre mois) et les plantes permanentes ou vivaces (L'adaptation met ici en jeu, à côté de phénomènes physiologiques encore mal connus, un ensemble d'adaptations morphologiques et anatomiques qui consistent surtout en un accroissement du système absorbant et en une réduction de la surface évaporante) (**Ozenda, 1991**). Le fort taux des éphémères indique que les habitats culturaux sont perturbés par les interventions anthropiques (Travail du sol, fertilisation et traitements phytosanitaire) qui favorisent l'installation des achebs par rapport aux espèces pérennes (vivaces) (**Fenni, 2003**). D'après, **Khaznadar et al. (2009)**, les plantes annuelles sont connues par leurs adaptations aux conditions climatiques dures.

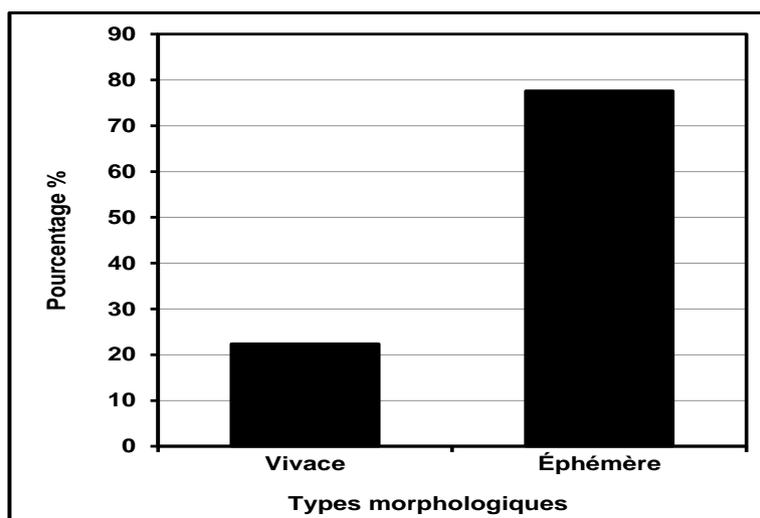


Figure 65. Spectre morphologique de la zone d'étude.

5.4.4.2. Les types biologiques

Six types biologiques sont enregistrés d'après la classification de Raunkiaer. Les thérophytes (annuelles) sont la forme de vie prédominante avec 34 espèces (44,74 %). Les chamaephytes et les hémicryptophytes occupent la deuxième position avec 14 espèces (9,71 %). Les phanérophytes et les géophytes sont moins représentés avec respectivement 7 espèces (9,21%), et 6 espèces (7,89 %). Les parasites sont représentés par une seule espèce (*Cistanche tinctoria*) (Fig. 66). Les travaux d'Osman et al. (2015) sont confirmés la prédominance des Thérophytes et chamaephytes dans l'écosystème oasisien. De plus, le taux élevé des thérophytes démontre la dominance de cette stratégie de vie pour survivre dans les conditions environnementales défavorables du désert avec les fortes perturbations dues aux pratiques agricoles (El-Saied et al., 2015). La haute proportion des thérophytes et des chamaephytes est typique pour le bioclimat méditerranéen semi-aride (Le Houérou, 1995 ; Aïdoud et al., 2006 ; Neffar et al., 2013). D'une autre coté, Abd El-Ghani (2000) mentionné que la dominance des Chamaephytes et des thérophytes indique une Spectre typique de forme de la vie désertique. De plus les théropytes ont des cycles de vie court et passent la mauvaise saison au niveau du sol à l'état de graine, et qui, coïncidant avec le cycle des cultures annuelles pratiquées (Jauffret, 2001). Le reste du spectre biologique, à savoir, les hémichryptophytes, les géophytes et les phanérophytes supportent en général les milieux naturels, et les habitats relativement stables (Kazi Tani et al., 2011). En fait, Les Chamaephytes sont mieux adaptées que les Phanérophytes et les Géophytes à l'aridité car ces derniers sont plus xérophiles. De plus, la baisse proportion des hémichryptophytes reflète la pauvreté du sol en matières organiques (Ghezlaoui et al., 2011).

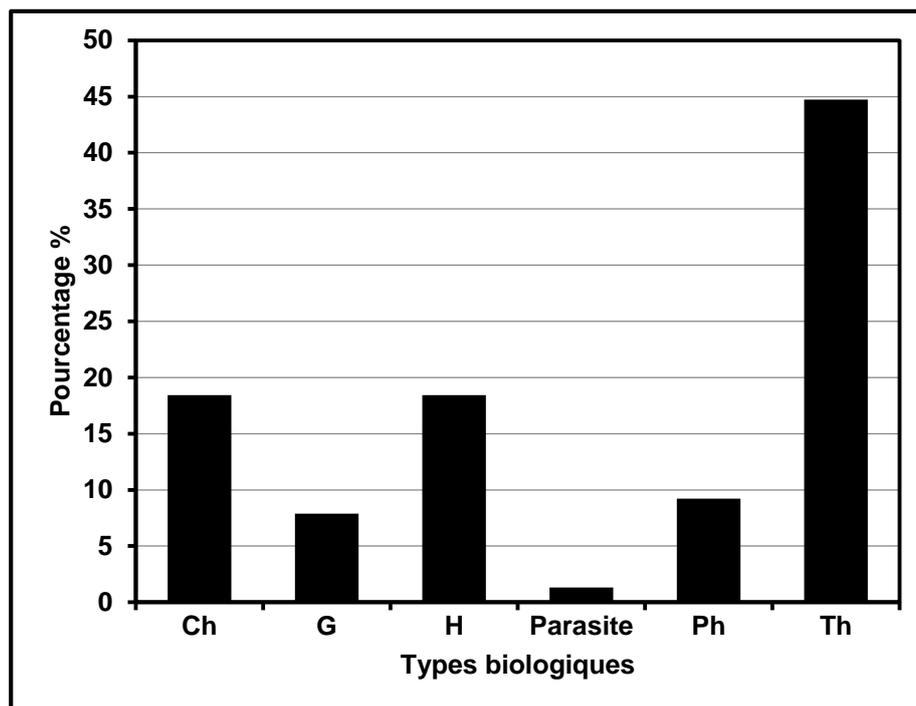


Figure 66. Spectre biologique dans la zone d'étude (Ch= Chamaephytes, G=Géophytes, H=Hémicryptophytes, Ph=Phanérophtes, Th= Thérophytes).

5.4.4.3. Les types de dissémination

Les résultats relatifs au mode de dissémination des espèces montrent la dominance des anémochores avec 39 espèces (51,32 %), suivis par les barochores avec 19 espèces (22,37 %). Les Zoochores présentent un taux de 21,05 % (16 espèces), les autochore sont faiblement représentées avec 2,63% (2 espèces), (**Fig. 67**). La dominance des anémochores est expliquée par la haute fréquence des vents (**Bradai et al., 2015**), dont la vitesse maximal de moyenne mensuel du vent atteint 20,94 (m/s) au cours de mois d'Avril. De plus le vent est un agent principal pour la dissémination des graines légères, ailées ou plumeuses (**Weihner et al., 1999**). Les animaux jouent un rôle secondaire dans la dispersion des graines à cause de faible abondance des animaux dans ces environnements. Il est intéressant de souligner que la restriction des modes de dispersion des espèces végétales augmentent l'aptitude de ces dernières à coloniser les biotopes où les conditions écologiques sont défavorables et vice versa (**Wa Ilunga et al., 2015**).

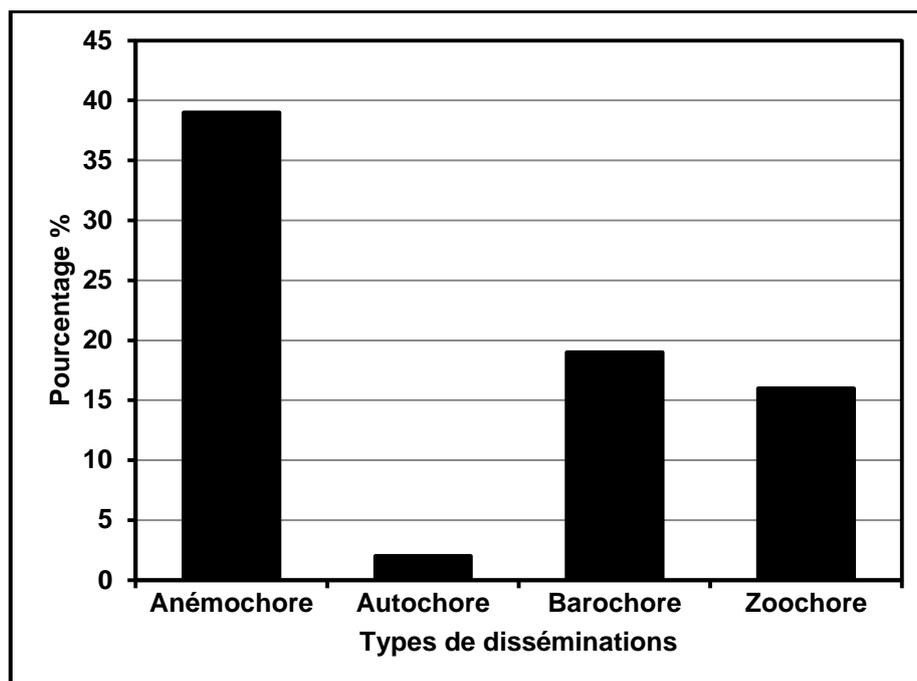


Figure 67. Types de dissémination dans la zone d'étude.

5.4.4.4. Les stratégies adaptatives de Grime

Les stratégies adaptatives de Grime est très recommandé pour comprendre le changement et la dégradation de la végétation sous l'influence de l'activité anthropique croissante (Jauffret et Visser, 2006). Le graphe ci-dessous (Fig. 68) montre que la majorité des espèces sont de type résistance-stress/compétitive. Il ya une nette dominance du type RS avec 47 espèces (61,84 %). Les espèces de stratégie CR sont moyennement présentes avec 10 espèces (13,16%), puis des espèces de stratégie C, S avec 7 espèces (9,21%), alors que les espèces CRS, CS et SC sont faiblement représentées avec moins de 3 espèces (<3,95%). D'après Jauffret (2001), les annuelles utilisent généralement la stratégie RS (Rudéral-Stress) parce que cette stratégie adaptative permet d'éviter d'être brouté par le bétail, suite au court et rapide phénologique Chehma (2006). De plus, les plantes éphémères vivaces utilisent cette stratégie par des mécanismes de défense morphologique et biochimique (Jauffret, 2001). Bradai *et al.* (2015) notent que la stratégie stress-tolérantes-rudérales est entièrement est se produit lorsque les perturbations persistent, soit sous la forme de fortes contraintes climatiques, soit sous l'effet de phénomènes de type zootechnique. Les espèces végétales de stratégie C (Compétitives) sont adaptées aux environnement hautement productifs (Bradai *et al.*, 2015).

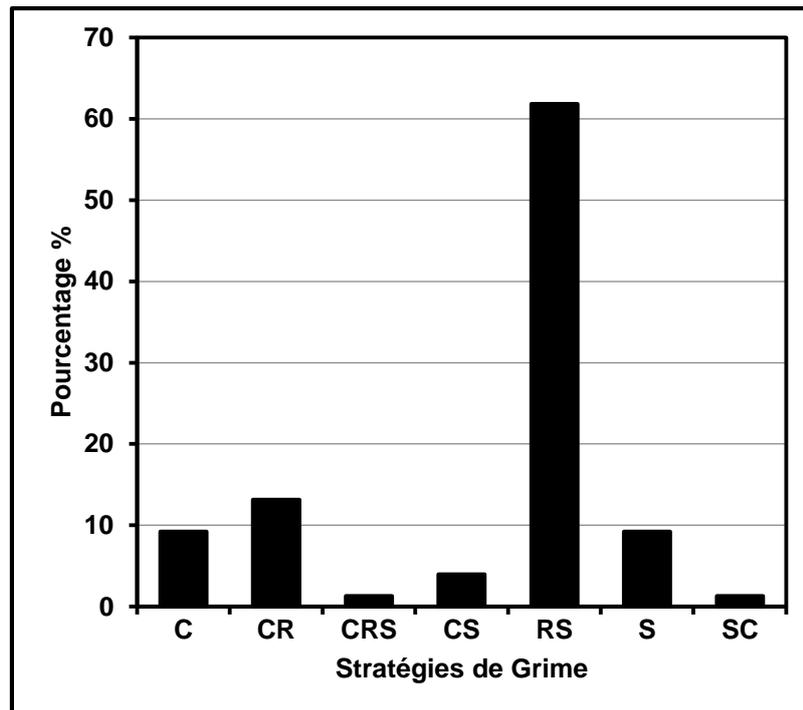


Figure 68. Stratégies adaptatives de Grime de la zone d'étude (C=Compétitive, CR=Compétitive et Rudérale, CRS=Compétitive-Rudérale-Stress, CS=Compétitive-Stress, RS=Rudérale-Stress, S=Stress, SC= Stress-Compétitive).

5.4.4.5. Les stratégies de Noy-Meir

La classification de Noy-Meir révèle que 57 espèces (75 %) sont arido-passives et 19 espèces (25%) sont arido-actives (**Fig. 69**). Généralement, l'augmentation du taux des thérophytes arido-passifs dans les communautés végétales va dans le même sens que l'aridité (**Barbero et al., 1989**). La flore représentée par les arido-actives ne supporte pas les conditions climatiques drastiques (évitant la mauvaise période climatique) (**Jauffret, 2001**). De plus **Jauffret (2001)**, avance que l'abondance des espèces arido-actives diminue fortement lorsque la dégradation augmente, alors que les arido-passives sont abondantes à tous les stades de dégradation.

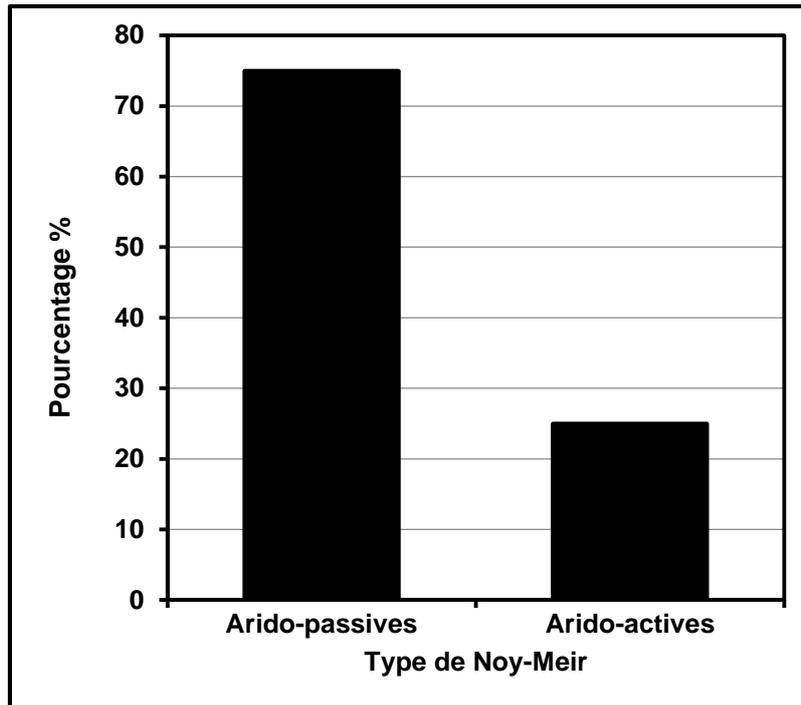


Figure 69. Stratégies de Noy-Meir.

5.4.4.6. Les types biogéographiques

Le spectre Chorologique des espèces inventoriées apparaît très hétérogène, avec une dominance totale des espèces méditerranéennes estimées à 21,05 (16 espèces), suivies par les cosmopolites par 13 espèces (17,11), et les Sahara- Sindien avec 11 espèces (14,47%). Trois espèces (3,95 %) ont une origine sub-cosmopolite. Les endémiques, Méd.Sah.Sind, les Nord-Africains, et les Sahariens sont représentés par 2 espèces (2,63%). Les types biogéographiques restants sont représentés seulement par une seule espèce (**Fig. 70**). La dominance biogéographique des espèces méditerranéennes est confirmée par **Quézel (1995)** qui rapporte que l'affinité phytogéographique de la biodiversité avec les origines de la flore méditerranéenne est influencée par les changements climatiques, les variations paléogéographiques et les mouvements tectoniques majeurs. De plus, Les anciennes routes de caravanes auraient également été responsables de l'introduction de mauvaises herbes et de plantes à travers les continents (**El-Saied et al., 2015**).

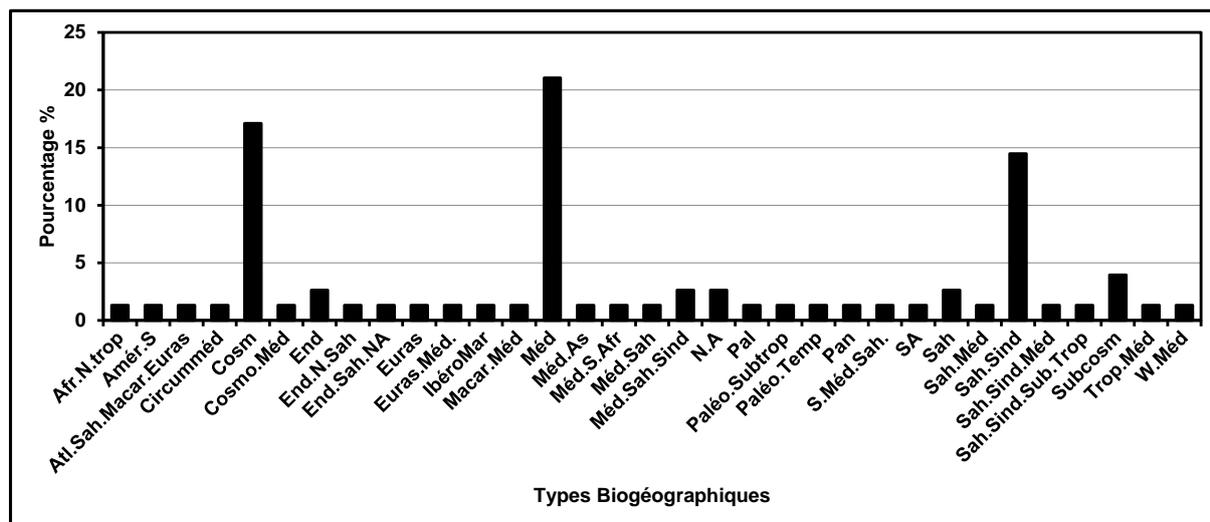
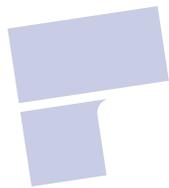


Figure 70. Spectre biogéographique dans la zone d'étude (Afr.N.trop : Afrique.Nord.tropical, Amér.S= Américain.Sud, Atl.Sah.Macar. Euras= Atlantique. Saharien. Macaronésien. Eurasiatique, Circumméd=Circumméditerranéen, Cosm=Cosmopolite, Cosmo. Méd=Cosmopolite. Méditerranéen, End=Endémique, End.N.Sah= Endémique.Nord. Saharien, End.Sah.NA=Endémique. Saharien. Nord-Africain, Euras= Eurasiatique, Euras. Méd= Eurasiatique. Méditerranéennes, IbéroMar= Ibéro-Marocain, Macar.Méd= Macaronésien. Méditerranéen, Méd= Méditerranéen, Méd.As= Méditerranéen. Asiatique, Méd.S.Afr= Méditerranéen.Sud. Africain, Méd.Sah= Méditerranéen. Saharien, Méd.Sah.Sind= Méditerranéen, Sahara.Sindien, N.A= Nord-Africain, Pal=Paléo, Paléo. Subtrop=Paléo-Subtropical, Paléo.Temp=Paléo.Tempéré, S.Méd.Sah=Sud. Méditerranéen. Saharien, Sah= Saharien, Sah.Méd= Sahara. Méditerranéen, Sah.Sind= Sahara. Sindien, Sah.Sind.Méd= Sahara. Sindien. Méditerranéen, Sah.Sind.Sub.Trop= Sahara. Sindien. Sub.Tropical. Subcosm= SubCosmopolite, Trop.Méd=Tropical. Méditerranéen, W.Méd=Ouest. Méditerranéen.



Conclusion

pdfelement

Au cours de cette étude, en se basant sur l'application du modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification Et Land Use) pour estimer la sensibilité environnementale à la désertification dans le système oasien du Ziban (Algérie), un vrai risque de désertification est démontré. Presque trois quart (70,98 %) de la région d'étude est affecté par ce phénomène (très sensible-C3.), focalisé surtout dans la partie centrale (Plaines et dépressions) où les activités humaines sont accentuées : urbanisation, surpâturage, sur-cultivation et exploitation irrationnelle des ressources naturelles. En plus, un pourcentage de 29,02 % de la zone totale étudiée est moins sensible par rapport la zone précédente. Sur la base de ce résultat, le Système d'Information Géographique peut être considéré comme un outil efficace pour évaluer et détecter les changements environnementaux et écologique, et ce, afin de contrôler et conserver les systèmes écologiques fragiles, sachant la rareté, voire le manque des données dans les pays en voie de développement. Aussi, il serait bénéfique de le mettre à la disposition des chercheurs, des élus, des décideurs et du public intéressé comme un support scientifique, flexible et apte à accepter de nouveaux facteurs ou indicateurs sur l'état environnemental et écologique des ressources naturelles. Il serait intéressant d'intégrer d'autres facteurs au modèle original afin de développer ou d'aboutir à un nouveau modèle plus adéquat et plus convenable aux zones désertiques méditerranéennes.

Dans la région du Ziban, le plus grand et le plus productif de dattes en Algérie, le patrimoine du PPD a connu une expansion significative en termes de superficie et de nombre d'arbres au cours des 30 dernières années, avec une augmentation de 48,22 km² (5,42%), et plus du 1,5 million de palmiers, avec un taux de changement équivalent à 1,66 km² / an et 20169 palmiers dattiers / an. Les modèles statistiques ont montré une relation positive très significative entre NDVI-DPP, NDMI-NDVI et CI-NDVI. Toutefois, des relations négatives ont été trouvées d'une part, entre SI-T et (NDVI et NDMI), d'autre part, les zones du PPD ont indiqué des valeurs de NDVI, de NDMI et de CI élevées, mais de faibles valeurs de SI-T. Cependant, les régions sans PPD ont montré des valeurs de NDVI, NDMI et CI faibles, avec des valeurs de SI-T élevées. Nos résultats ont révélé que le PPD apparaît comme une ceinture refuge protectrice contre la désertification et l'envahissement du sable.

La politique agro-économique adoptée par le gouvernement algérien dans les zones arides représente un modèle réussi pour le développement de l'agriculture aride au Sud du pays. En outre, l'outil de télédétection a fourni une approche utile pour surveiller, détecter les changements et ainsi conserver les écosystèmes fragiles dans une grande zone en un temps et une rentabilité raisonnables.

Les cartes d'aptitudes à la phoeniciculture sont destinées à fournir aux responsables, élus locaux, décideurs et paysans, l'information fiable et une mise à jour sur les zones potentielles de phoeniciculture. Quatre classes sont distinguées : élevée, moyenne, faible et très faible. La zone classée très faible est très abondante, par contre les zones élevée, moyenne et faible sont moins représentées dans la région d'étude.

La région du Ziban dispose donc d'énormes potentialités en matière de phoeniciculture réparties sur l'ensemble de la région et leur mise en valeur pourrait suffire à assurer le développement agro-socio-économique de la wilaya de Biskra.

L'analyse floristique nous a permis de montrer une diversité biologique importante avec 76 espèces appartenant à 35 familles (Groupements restreints mais avec une grande diversité), où les trois quart d'espèces sont éphémères et l'autre quart constitué d'espèces vivaces, avec des types biologiques dominés par les thérophytes, les chamaephytes, les hémicryptophytes, les phanérophyles et les géophytes. Les parasites sont moins représentés. La végétation des oasis est caractérisée par la dominance des anémochores, suivis par les barochores. Les autres types sont faiblement représentés. Quant aux stratégies de Grime, une prédominance d'espèces de type Résistance-Stress/Compétitive est enregistrée, alors que les types de stratégie de Noy-Meir ont montré l'importance des espèces arido-passives par rapport aux espèces arido-actives. La plupart de ces espèces sont d'origine méditerranéenne, suivies par les cosmopolites. L'utilisation de l'approche de traits fonctionnels des plantes (Type morphologiques, biologiques, biogéographiques, dissémination, stratégies adaptatives de Grime, stratégies de Noy-Meir) nous a permis de déduire que les espèces végétales des groupements messicoles et rudérales des écosystèmes oasiens sont des espèces bien adaptées aux milieux désertiques.

À la lumière des résultats obtenus nous considérons que notre étude, comme toute autre recherche, ne peut être que participative et nécessite certainement la complémentarité d'autres études. Comme perspective, L'utilisation des données de Télédétection à haute résolution telles que l'imagerie hyper spectrale et la spectrométrie, peuvent largement soutenir dans ce contexte et augmenter la précision de la surveillance des zones arides.

Références

Références

- Abdelguerfi, A. (2003).** Plan d'action et Stratégie Nationale dur la Biodiversité : Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la reduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie (Rapport de synthèse), T. V, p.27-29.
- Abdellaoui, A., (1989).** Développement et Télédétection des ressources naturelles au Maghreb central. Ed. A-U. Paris, pp 6-10.
- Abd El-Ghani, M. M. (2000).** Floristics and environmental relations in two extreme desert zones of western Egypt. *Global Ecology and Biogeography*, 9(6), 499-516.
- Acourene, S., Allam, A., Taleb, B., Tama, M. (2007).** Inventaire des différents cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) des régions d'Oued-Righ et d'Oued-Souf (Algérie). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18(2), 135-142.
- AI-Barrak, S.A. (1990).** Characteristics of some soils under date palm in AI-Hassa eastern oasis, Saudi Arabia. *Journal of King Saud Univesity*, 2(1), 115 – 130.
- Aïdoud, A., Le Floc'h, É., & Le Houérou, H. N. (2006).** Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17(1), 19-30.
- Akrimi, N., (1990).** Adéquation entre programmes de recherches menés et besoins réels en matière de lutte contre la désertification .*CIHEAM- Options méditerranéennes*. n °25, p.57.
- Al-Abdoulhadi, I.A., Dinar, H.A., Ebert, G., Bttner, C. (2011).** Effect of salinity on leaf growth, leaf injury and biomass production in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(11), 1542-1546.
- Alam, S., AlShaikh, A.A. (2013).** Use of palm fronds as shaded cover for evaporation reduction to improve water storage efficiency. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 25(1), 55-58. DOI: [10.1016/j.jksues.2012.01.003](https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.01.003)
- Aleid, S. M., Al-Khayri, J. M., Al-Bahrany, A. M. (2015).** Date Palm Status and Perspective in Saudi Arabia. In *Date Palm Genetic Resources and Utilization* (pp. 49-95). Springer Netherlands.
- Alexander, M. (2005).** Remote Sensing in Support of Ecosystem Management Treaties and Transboundary Conservation. USA: CIESIN, p. 3.
- Aldakheel, Y.Y. (2011).** Assessing NDVI spatial pattern as related to irrigation and soil salinity management in Al-Hassa Oasis, Saudi Arabia. *Journal of the Society of Remote Sensing*, 39(2), 171-180. DOI: [10.1007/s12524-010-0057-z](https://doi.org/10.1007/s12524-010-0057-z)

- Alhammadi, M.S., Glenn, E.P. (2008).** Detecting date palm trees health and vegetation greenness change on the eastern coast of the United Arab Emirates using SAVI. *International Journal of Remote Sensing*, 29(6), 1745-1765. DOI: [10.1080/01431160701395195](https://doi.org/10.1080/01431160701395195)
- Ali Brac, R., Perrière, D.L., Benkhalifa, A., (1991).** Progression de la fusariose du palmier dattier en Algérie. *Sécheresse*. Vol.2, n°2, p.123, 127.
- Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V. (2015a).** Date palm genetic resources and utilization. *Africa and the Americas*, 1: 1-546. DOI: [10.1007/978-94-017-9694-1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1)
- Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V. (2015b).** Date palm genetic resources and utilization. *Asia and Europe*, 2: 1-566. DOI: [10.1007/978-94-017-9707-8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9707-8)
- Allbed, A., Kumar, L., Aldakheel, Y.Y. (2014a).** Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region. *Geoderma*, 230, 1-8. DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.03.025](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.025)
- Allbed, A., Kumar, L., Sinha, P. (2014b).** Mapping and modelling spatial variation in soil salinity in the Al Hassa Oasis based on remote sensing indicators and regression techniques. *Remote Sensing*, 6(2), 1137-1157. DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.03.025](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.025)
- Alshammari, A. M., Sharawy, S. M. (2010).** Wild plants diversity of the Hema Faid Region (Ha'il Province, Saudi Arabia). *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(8), 447-454.
- Al-Shayeb, S.M., Al-Rajhi, M.A., Seaward, M.R.D. (1995).** The date palm (*Phoenix dactylifera* L.) as a biomonitor of lead and other elements in arid environments. *Science of the Total Environment*, 168(1), 1-10. DOI: [10.1016/0048-9697\(95\)04556-G](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04556-G)
- Al-Yahyai, R., Khan, M.M. (2015).** Date Palm Status and Perspective in Oman. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands, pp. 207-240. DOI: [10.1007/978-94-017-9707-8_6](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9707-8_6)
- ANAT. (2003a).** Schéma directeur des ressources en eau de la Wilaya de Biskra, Dossiers : Les eaux souterraines, Les potentialités en eaux superficielles, Phase II.p.9,17, 70.
- ANAT. (2003b).** Schéma directeur des ressources en eau, Wilaya de Biskra, Rapport de Synthèse, Phase II. p.5-16, 50.
- ANAT. (2003c).** Ceinture vert Biskra, Rapport final, phase III, p. 24,25, 57,58.
- Andrew, P. (2017).** Wade Bishop and Tony H. Grubestic, Geographic Information: Organization, Access, and Use. *KNOWLEDGE ORGANIZATION*, 44(4), 308-310.
- Aouidane, L. (2008).** Etude de la dynamique agricole dans la région des zibans: cas de la zone d'El Ghrous (Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah de Ouargla).

- Arab, L., Kreuzwieser, J., Kruse, J., Zimmer, I., Ache, P., Alfarraj, S., et al., (2016).** Acclimation to heat and drought—Lessons to learn from the date palm (*Phoenix dactylifera*). *Environmental and Experimental Botany*, 125, 20-30. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2016.01.003](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.01.003)
- ASAL. DGF. (2010a).** Carte d' occupation des sols-Wilaya de Biskra.
- ASAL., DGF. (2010b).** Carte desensibilité à la desertification-Wilaya de Biskra.
- Ashok, K. M. (2008).** Information to Geographical Information system. Concept publishing campany. First published, New Delhi, 37p.
- Askri, B., Bouhlila, R., Job, J. O. (2010).** Development and application of a conceptual hydrologic model to predict soil salinity within modern Tunisian oases. *Journal of hydrology*, 380(1), 45-61.
- Assal, T.J., Anderson, P.J., Sibold, J. (2016).** Spatial and temporal trends of drought effects in a heterogeneous semi-arid forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 365, 137-151. DOI: [10.1016/j.foreco.2016.01.017](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.017)
- Assami, T., Hamdi, A., B, Halitim, A., Mostefaoui, T., Rouahana, H. (2014).** Apport de la Teledetection dans l'Etude de la Relation entre Etats de Surface et Pedopaysages en Milieu Aride: Exemple de la Region d'el Outaya (Biskra, Algerie). *Algerian Journal of Arid Environment*, 4(1), 60-71.
- Athan, T. (2010).** Quantum GIS, Manuel Utilisation, Version 1,3.'Mimas' Quantum GIS Development Team. 10p.
- Baba, S. (2005).** Le palmier dattier et son importance dans le système de production oasien : Cas de la vallée du Ziz. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens du 08 au 10 mars 2005 Erfoud, Maroc.p.149.
- Baccari , N., Boussema, M.R., Snane, M.H. (2005).** Nécessité de développement d'une méthodologie d'inventaire basée sur des Photographies Aériennes numérisées, la réalité de terrain et un SIG : Le cas des aménagements de conservation des eaux et du sol en Tunisie. *Téledétection*, vol. 5, n°(1-2-3), p.7,8.
- Bai, J., Chen, X., Li, L., Luo, G., Yu, Q. (2014).** Quantifying the contributions of agricultural oasis expansion, management practices and climate change to net primary production and evapotranspiration in croplands in arid northwest China. *Journal of Arid Environments*, 100, 31-41.
- Bakr, N., Weindorf, D. C., Bahnassy, M. H., et El-Badawi, M. M. (2012).** Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological Indicators*, 15(1), 271-280.

Ballais, J. L. (2005). Les villes sahariennes et les ressources en eau. *La ville et le désert, le Bas-Sahara algérien, Paris–Aix-en-Provence, Karthala–IREMAM*, 73-93.

Barralis G., Chadoeuf R. et Dessaint F. (1992). Influence à long terme des techniques culturales sur la dynamique des levées au champ d'adventices. IX^{ème} colloque internationale, Biologie, écologie, et systématique des mauvaises herbes, Dijon, 12 p.

Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R., Quezel, P. (1989). Sclerophyllous Quercus forests of the Mediterranean area: ecological and ethological significance. *Bielefelder Ökol. Beitr*, 4, 1-23.

Barbier, P. (2003). Map Info V7.0 Fonctionnalités de base. ENSG, Marne, 6p.

Bariou, R. (1978). Manuel d'utilisation de Télédétection. 2^{ème} partie : les applications de la

Bayer, E., Buttler, K. P., Finkenzeller, X., Grau, J. (2009). Guide de la flore méditerranéenne : Caractéristiques, habitats, distribution et particularités de 536 espèces. éd. nature Delachaux et Niestlé.

Baz, I., Geymen, A., Er, S. N. (2009). Development and application of GIS-based analysis/synthesis modeling techniques for urban planning of Istanbul Metropolitan Area. *Advances in Engineering Software*, 40(2), 128-140.

Begni, G., Escafadal, R., Fontannaz, D., Hong-Nga Nguyen, A. T. (2005). La télédétection: un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification.

Bekheet, S.A., El-Sharabasy, S.F. (2015). Date Palm Status and Perspective in Egypt. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands, pp. 75-123. DOI: 10.1007/978-94-017-9694-1_3

Belguedj M. (1990). Mise en valeur et développement du Palmier dattier en Algérie. *CIHEAM- Options méditerranéennes*, p.191.

Belguedj, M., Salhi, A., Mattalah, S. (2008 a). Diagnostic rapide d'une région agricole dans le Sahara algérien, Axes de recherche/ Développement prioritaires ; Cas de la région des Ziban (Biskra). Alger : INRA, Algérie.

Belguedj, M., Tirichine, A., Guerradi, M. (2008 b). La culture du palmier dattier dans les oasis de Ghardaïa (Algérie). *Alger: INRA, Algérie*.

- Belhadj-Aissa, M., Belhadj-Aissa, A., Smara, Y. (2003, December).** Application du SIG et de la Télédétection dans la Gestion des feux de Forêts en Algérie. In *2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco* (p. 16).
- Benabadi, N., Bouazza, M. (2000).** Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso. dans l'Oranie (Algérie occidentale). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(2), 117-23.
- Benabderrahmane, M.C., Chenchouni, H. (2010).** Assessing environmental sensitivity areas to desertification in eastern Algeria using Mediterranean desertification and land use "MEDALUS" model. *Int. J. Sustain. Water Environ. Syst.*, 1(1), 5-10. DOI : 10.5383/swes.01.01.002
- Benaoun, A., Elbakkey, M., Ferchichi, A. (2014).** Change of oases farming systems and their effects on vegetable species diversity: Case of oasian agro-systems of Nefzaoua (South of Tunisia). *Scientia Horticulturae*, 180, 167-175.
- Benchelah, A.C., Maka, M. (2008).** Les dattes : intérêt en nutrition. *Phytothérapie*, 6(2), 117-121. DOI : 10.1007/s10298-008-0296-0
- Benguerai, A., Benabdeli, K. (2009).** Contribution à l'élaboration d'un SIG pour une région steppique: wilaya de Naâma (Algérie).
- Benkhalifa, A. (1990).** Diversity of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in the Algerian oases. *CIHEAM- Options méditerranéennes*, p.160.
- Benkouider, F., Hamami, L., Abdellaoui, A., Salmon, M. (2012).** EXTRACTION DE ROUTES PAR CLASSIFICATION SUPERVISÉE ET PAR RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS À PARTIR D'IMAGE SPOT: CAS D'UNE VILLE OASIENNE (ALGÉRIE). *Télédétection*, 11(1), 237-249.
- Berry, A., Miellet, Ph. (1999).** SIG. GIS. FNC. Centre de documentation de l'urbanisme. Paris, 5p.
- Blum, A., Feldmann, L., Bresler, F., Jouanny, P., Briançon, S., Régent, D. (1995).** Intérêt du calcul du coefficient kappa dans l'évaluation d'une méthode d'imagerie. *Journal de radiologie*, 76(7), 441-443.
- Boualem, B. (2010).** *Le développement agricole dans les régions sahariennes Etude de cas de la région de Ouargla et de la région de Biskra (2006-2008)* (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah de Ouargla).

- Bougherara, A. (2010).** Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la Wilaya d'el Tarf (Algérie) à partir des images Landsat, Spot et Aster. *Téledétection*, vol. 9, n°3-4, p.231.
- Bougherara, A., Lacaze, B. (2008).** Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la wilaya d'El Tarf (Algérie) à partir des images Landsat et ASTER. *Communication aux XIeme journées scientifiques de télédétection de l'AUF (Télédétection et gestion de l'environnement)*.
- Bouguedoura, N., Benkhalifa, A., Bennaceur, M. (2010).** Le palmier dattier en Algérie. In Aberlenc-Bertossi, F (éd.) *Biotechnologies du palmier dattier*. Paris : IRD Éditions.p. 16,19.
- Bouguedoura, N., Bennaceur, M., Babahani, S., Benziouche, S.E. (2015).** Date palm status and perspective in Algeria. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands. pp. 125-168. DOI: 10.1007/978-94-017-9694-1_4
- Bounaga, N., Djerbi, M. (1990).** Pathologie du palmier dattier. *CIHEAM- Options Méditerranéennes*, Sér. A/n°11, 132p.
- Boureboune, L., Benazzouz, M.T. (2009).** Aeolian morphogenesis and strategy of fight against desertification in Algeria (Hodna and Zibans Basin). In: Marini, A., Talbi, M. (eds.). *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data*. Springer, Netherlands. pp. 91-103. DOI: 10.1007/978-1-4020-8937-4_8
- Bourzat, D., Goe, M. R. (1990).** L'animal, force de travail dans les systèmes oasiens. *Les systèmes agricoles oasiens. V. Dollé and G. Toutain. Tozeur, CIHEAMCEE/DG*, 8, 249-260.
- Bousseker, H., Driche, S. (2011).** Etude de la dynamique des cultures phoenicicoles par télédétection dans la région de Zab el Gharbi. (Master 2 dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Bouzaher, A. (1990).** Note technique : Création d'oasis en Algérie. *Options Méditerranéennes : Séminaires Méditerranéens*, 325-328.
- Bouzaher, S.L., Alkama, D. (2013).** The Requalification of the Palm Trees of Ziban as a Tool for Sustainable Planning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 102, 508-519. DOI: [10.1016/j.sbspro.2013.10.767](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.767)
- Bouziane, M. L. A., Labadi, A. (2009).** Les eaux profondes de la région de Biskra (Algérie). *European Journal of Scientific Research, ISSN*, 526-537.

- Bouzekri, A., Benmessaoud, H. (2014).** Study and diachronic analysis of changes of ground occupation in area of oriental Aures Algeria. *Analele Universității din Oradea-Seria Geografie*.n° 2, p.84.
- Brabant, P. (1993).** Pédologie et système d'information géographique: comment introduire les cartes de sols et les autres données sur les sols dans les SIG?. *Cahiers-ORSTOM. Pédologie*, 28(1), 107-135.
- Bradai, L., Bouallala, M. H., Bouziane, N. F., Zaoui, S., Neffar, S., Chenchouni, H. (2015).** An appraisal of eremophyte diversity and plant traits in a rocky desert of the Sahara. *Folia Geobotanica*, 50(3), 239-252.
- Braun-Blanquet, J. (1951).** Pflanzensoziologische einheiten und ihre klassifizierung. *Plant Ecology*, 3(1), 126-133.
- Brun, J., Khoualdia, O.(1990).** Lutte biologique contre les cochenilles du Palmier dattier à l'aide de prédateurs exotiques. *CIHEAM- Options méditerranéennes*, p.162.
- Caloz, R., Collet, C. (2011).** *Analyse spatiale de l'information géographique*. PPUR Presses polytechniques.
- Cazaux, J. C. (1990).** Les systèmes spatiaux d'observation de la terre. *Options Méditerranéennes Série AN*, 4(1990), 31-38.
- CCT. (2005).** Notions fondamentales de télédétection. Canada.p.1-68.
- Chander, G., Markham, B. (2003).** Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677. DOI: 10.1109/TGRS.2003.818464
- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L. (2009).** Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5), 893-903. DOI: 10.1016/j.rse.2009.01.007
- Chang, W. (2013).** R graphics cookbook. Ed. O'Reilly Media, Sebastopol, CA, USA.
- Charoy, J., Torrent, H. (1990).** Origine, gestion de l'eau, évaluation des aquifères dans les Oasis. *Revue options méditerranéennes, CIHEAM*, 229-235.
- Chasek, P., Safriel, U., Shikongo, S., Fuhrman, V.F. (2015).** Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification?. *Journal of Arid Environments*, 112, 5-13. DOI : [10.1016/j.jaridenv.2014.05.020](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.020)
- Cherif, H., Marasco, R., Rolli, E., Ferjani, R., Fusi, M., Soussi, A., et al. (2015).** Oasis desert farming selects environment-specific date palm root endophytic communities and

cultivable bacteria that promote resistance to drought. *Environmental Microbiology Reports*, 7(4), 668-678. DOI : 10.1111/1758-2229.12304

Chehema, A. (2005). *Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional Algérien cas des régions de Ouargla et Ghardaïa* (Doctoral dissertation, Thèse. Doct. Université Badji Mokhtar-Annaba: 178 p).

Chehema, A. (2006). Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. *Laboratoire de protections des écosystèmes en zones arides et semi arides (université Kasdi Merbah-Ouargla). Ain Mlila: éditions Dar El Houda.*

Chikhaoui, M., Merzouk, A., Lacaze, B., Madramootoo, C. A. (2010). Etude de la dégradation des sols en milieu semi-aride à l'aide de l'approche neuronale et de données multi sources. *Revue télédétection*, 9, 139-150.

Ci, L., Yang, X., Yang, Y. (2010). Concept and Global Status of Desertification. In: Ci, L., Yang, X. (eds.). *Desertification and its Control in China*. Springer, Berlin Heidelberg. pp. 1-28. DOI: 10.1007/978-3-642-01869-5_1

Claude, C. (2004). Analyse spatiale géométrique et systèmes d'informations géographique, un regard de l'analyse spatiale sur la géomatique et ses outils d'exploitation. Journées cassinisigma, Univ. Fibourg, Suisse, 3p.

Clouet, Y. (1995). Les oasis, Mappemonde 4/95, p 44-48

Clouet, Y., Dollé, V. (1998). Aridité, oasis et petite production, exigences hydrauliques et fragilité sociale: une approche par analyse spatiale et socio-économique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 9(2), 83-94.

CNTS. (1992). Système d'Information Géographique. Clamency : Presses de Laballery, p. 107, 108.

Correia, P. (2012). *Guide pratique du GPS*. Editions Eyrolles.

Côte, M. (1974). Les régions climatiques de l'Est Algérien. CURER. Univ. Constantine, Algérie.

Côte, M. (1998). Des oasis malades de trop d'eau?. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 9(2), 123-130.

Côte, M. (2005). L'Urbanisation aujourd'hui au Bas Sahara. In Côte, M. (éd.). *La ville et le Désert : Le bas-Sahara Algérien*. Paris : Karthala et Iremam.

Côte, M. (2008). Pays, paysages, paysanes d'Algérie. Constantine : Média-plus. Chap.12, Une réponse aux contraintes du milieu. p.147.

- Crossa-Raynaud, P. (1990).** Note Technique : L'Arboriculture Fruitière dans les Systèmes Agricoles Oasiens. *Les Systèmes Agricoles Oasiens, 11*, 319-324.
- Daher, A. (2010).** Détermination du sexe chez le palmier dattier : Approches histocytologiques et moléculaires.
- Daher, A., Mohamed, N., Aberlenc-Bertossi, F. (2015).** Date Palm Status and Perspective in Djibouti. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands. pp. 429-444.
- Dajoz, R. (2006).** *Précis d'écologie*. 8th edn. Dunod, Paris.
- Damagnez, J. (1990).** Économie de l'eau en zone aride : utilisation des eaux de surface. *CIHEAM- Options méditerranéennes*, n° 28, p.35.
- Daoud, Y., Halitim, A. (1994).** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 5(3), 151-160.
- De Grenade, R. (2013).** Date palm as a keystone species in Baja California peninsula, Mexico oases. *Journal of Arid Environments*, 94, 59-67. DOI: [10.1016/j.jaridenv.2013.02.008](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.02.008)
- Béguyot, P., Chevalier, B., Rothova, H. (2004).** *Le GPS en agriculture : principes, applications et essais comparatifs*. Educagri Editions.
- Dedkov, V.P., Gunin, P.D. (2014).** On the microclimate of natural oases of the extremely arid desert of the Transaltai Gobi. *Arid Ecosystems*, 4(4), 253-258. DOI: 10.1134/S2079096114040039
- Dénégre, J., Salgé, F. (2004).** Les system d'information géographique . 2^{ème}.Ed.p.34-40.
- Dénégre, J. (2005).** Sémiologie et conception cartographique. Paris : LAVOISR, P. 42-47.
- De Paola, F., Ducci, D., et Giugni, M. (2013).** Desertification and erosion sensitivity. A case study in southern Italy: the Tusciano River catchment. *Environmental earth sciences*, 70(5), 2179-2190.
- DPAT. (1984).** Monographie de La Wilaya de Biskra. Biskra, Avril 2005, Algérie, 205p.
- DPAT. (1999).** Monographie de La Wilaya de Biskra. Biskra, Avril 2005, Algérie, 205p.
- DPAT. (2013).** Monographie de La Wilaya de Biskra. Biskra, Avril 2005, Algérie, 205p.
- Diab, N., Deghiche, L., Kachai, S. (2016).** Importance of spontaneous plants of steppe arid regions ouled djellel biskra (Algeria).
- Desjardins, R., Rognon, P., Benalla, M. (2005).** Progrès importants des études sur l'évolution des dunes grâce à l'utilisation combinée des satellites civils et militaires : l'exemple du Tafilalet (Maroc). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 16(3), 153-164.

- Dessì, F. G., Niang, A. J. (2009).** Thematic mapping using quickbird multispectral imagery in Oung El-Jemel area, Tozeur (SW Tunisia). In *Desertification and risk analysis using high and medium resolution satellite data* (pp. 207-212). Springer Netherlands.
- Diab, N. (2015).** *Etude de la biodiversité des arthropodes et des plantes spontanées dans l'agro-écosystème oasien* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Djebaili, S. (1978).** *Recherches phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien* (Doctoral dissertation, Thèse doctorat es sciences, université Montpellier).
- Djenane, A. (1990).** Commercialisation des dattes en Algérie et perspective. *CIHEAM-Options méditerranéennes*, p.228.
- Djennane, A. (1990).** Constat de situation des zones sud des oasis algériennes. *Revue options méditerranéennes, CIHEAM*, 29-40.
- Doberstein, D. (2011).** *Fundamentals of GPS Receivers: A Hardware Approach*. Springer Science Business Media.
- Dooley, E. (2002).** EHPnet: United Nations Convention to Combat Desertification. *Environmental Health Perspectives*, 110(2), A77. DOI:
- DSA. (2003).** Schema directeur de développement agricole. 17p.
- Dubost, D. (1986).** Nouvelles perspectives agricoles du Sahara algérien. *Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée*, 41(1), 339-356.
- Dubost, D. (1992).** Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 3(2), 85-96.
- Dubost, D. (2002).** *Ecologie, Aménagement et développement Agricole des oasis algériennes*. Ed Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides (Doctoral dissertation, Thèse Doctorat. 423 p).
- Dubost, D., Larbi-Youcef, Y. (1998).** Mutations agricoles dans les oasis algériennes : l'exemple des Ziban. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 9(2), 103-110.
- Dubost, D., Moguedet, G. (1998).** Un patrimoine menacé : les foggaras du Touat. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 9(2), 117-122.
- El-Ghani, M. M. A., & El-Sawaf, N. (2004).** Diversity and distribution of plant species in agro-ecosystems of Egypt. *Systematics and Geography of Plants*, 319-336.
- El-Rabbany, A. (2002).** *Introduction to GPS: the global positioning system*. Artech house.

- El-Saied, A. B., El-Ghamry, A., Khafagi, O. M. A., Powell, O., Bedair, R. (2015).** Floristic diversity and vegetation analysis of Siwa Oasis: An ancient agro-ecosystem in Egypt's Western Desert. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 361-372.
- Escadafal, R. (2007).** Les bases de la surveillance de la désertification par satellites. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18(4), 263-270.
- Evenari, M., Schuze, ED., Kappen, L., Buschbom, U., Lange, OL. (1975).** Adaptive mechanisms in desert plants. In Vernberg, F.J. (éd.) *Physiological Adaptation to the Environment*. Cambridge University Press, p.111–129.
- Fenni, M. (2003).** Etude des mauvaises herbes des céréales d'hiver des hautes plaines constantinoises .Ecologie, dynamique, phénologie et biologie des bromes. Thèse doctorat d'état, Université de Sétif, 165 p.
- Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A., et Nolè, A. (2012).** Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. *Ecological Indicators*, 23, 123-129.
- Ferry, M. (1990).** La crise du secteur phoenicicole dans les pays méditerranéens.Quelles recherches pour y répondre?. *CIHEAM- Options méditerranéennes*,p. 149.
- Ferry, M., Toutain, G. (1990).** Concurrence et complémentarité des espèces végétales dans les oasis. *Options Méditerranéennes. Serie A: Séminaires Méditerranéens (CIHEAM). no. 11.*
- Ferry, M., Bouguedoura, N., El Hadrami, I. (1998).** Patrimoine génétique et techniques de propagation in vitro pour le développement de la culture du palmier dattier. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 9(2), 139-146.
- Ferry M, Bedrani S, Greiner D. (1999).** Agroéconomie des oasis. Ed.CIRAD.Montpellier ,France. p.74.
- Galatia S. R. (2006).** Géographique information systems demystified. Ed. Artech house, Boston, 118p.
- Gebauer, J., Luedeling, E., Hammer, K., Nagieb, M., et Buerkert, A. (2007).** Mountain oases in northern Oman: an environment for evolution and in situ conservation of plant genetic resources. *Genetic resources and crop evolution*, 54(3), 465-481.
- Ghanem, M. (2013).** Les enjeux climatiques au Maghreb. Terres et vies oasiennes au défi du changement climatique. Rencontre internationale pour la sauvegarde des oasis. Le rendez-vous multi-acteurs pour la sauvegarde et le développement durable des oasis. 23, 24, 25 mars 2013 – ZARZIS, TUNISIE, RADD0,p. 11.

- Ghazi, A. (2006).** Problématique de la désertification en Algérie: état et mesures de lutte pour la protection des ressources naturelles. In *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue* (pp. 167-185). Springer Netherlands.
- Ghezlaoui, B. E., Benabadji, N., Benmansour, D., Merzouk, A. (2011).** Analyse des peuplements végétaux halophytes dans le Chott El-Gharbi (Oranie-Algérie).
- Girard, MC., Girard CM. (1989)** .Application de la Télédétection à l'étude de la biosphère. 186p.
- Girard, M-C., Girard, C.M. (1999).**Traitement des données de Télédétection. Paris : Dunod.Chap.B, Interprétation des données, p. 72,91.
- Gitay H. Noble I.R. (1997).** What are functional types and how should we seek them? In: *Plant Functional Types. Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change* (eds. Smith TM, Shugart HH Woodward FI), pp. 3-19. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gnacadja, L. (2015).** New challenges in science and policies to combat desertification. *Journal of Arid Environments*, (112), 1-4.
- Gottfried, K. (2003).** *GEOINFORMATION, Remote sensing, photogrametry and geographic information systems*. New York : Taylor et Francis. Chap. 2, Remote sensing, p.21-22.
- Gounot, P. (1969).** Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Paris : Masson et C^{ie} ,p.64, 247,222.
- Graïne, S. (2003).** Les bases de données relationnelles. Tizi Ouzou: Les éditions l'Abeille.
- Gregoire, R. (1990).** L'utilisation de la télédétection dans les projets de développement de la CEE. *CIHEAM- Options méditerranéennes*. Sér. A/n °4, p.43.
- Grime, J. P. (1977).** Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, 111(982), 1169-1194.
- Grime, J. P. (2006).** *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. John Wiley Sons.
- Guezoul, O., Chenchouni, H., Sekour, M., Ababsa, L., Souttou, K., Doumandji, S. (2013).** An avifaunal survey of mesic manmade ecosystems "Oases" in Algerian hot-hyperarid lands. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(1), 37-43. DOI: [10.1016/j.sjbs.2012.10.001](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.10.001)
- Guinochet, M. (1973).** Phytosociologie. Ed. Masson, Paris, 227p.

- Hadeel, A. S., Jabbar, M. T., et Chen, X. (2010).** Application of remote sensing and GIS in the study of environmental sensitivity to desertification: a case study in Basrah Province, southern part of Iraq. *Applied Geomatics*, 2(3), 101-112.
- Hafida, R-B. (2006).** Fourrages cultivés des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt : caractéristiques ethnobotaniques, morphologiques et valeur alimentaire. Alger. INRA Alger. p.1
- Hajjaji, A. (1990).** Arboriculture, cultures maraîchères et de rente en zones oasiennes. *CIHEAM- Options Méditerranéennes*, Sér. A/n°11, p.155.
- Hamamouche, M. F., Kuper, M., Riaux, J., & Leduc, C. (2017).** Conjunctive use of surface and ground water resources in a community-managed irrigation system—The case of the Sidi Okba palm grove in the Algerian Sahara. *Agricultural Water Management*, 193, 116-130.
- He, Y. (2014).** The effect of precipitation on vegetation cover over three landscape units in a protected semi-arid grassland: temporal dynamics and suitable climatic index. *Journal of Arid Environments*, 109, 74-82.
- Hirche, A., Boughani, A., Adi, N. (2006).** CONTRIBUTION AL ETUDE DE L APPOINT DE L IMAGE SATELLITAIRE AL INVENTAIRE CARTOGRAPHIQUE ET PHYTOECOLOGIQUE D UNE ZONE PRESAHARIENNE DU SUD CONSTANTINOIS.
- Hooke, J., Sandercock, P. (2012).** Use of vegetation to combat desertification and land degradation: Recommendations and guidelines for spatial strategies in Mediterranean lands. *Landscape and Urban Planning*, 107(4), 389-400. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2012.07.007](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.07.007)
- Howari, F.M., Goodell, P.C. (2009).** Characterization of salt-crust build-up and soil salinization in the United Arab Emirates by means of field and remote sensing techniques. In: Metternicht, G, Zinck, J.A. (eds) *Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management*. CRC Press, pp. 141-154. DOI: [10.1201/9781420065039.ch8](https://doi.org/10.1201/9781420065039.ch8)
- IAAT., 2003-** Cahier méthodologique sur la mise en œuvre d'un SIG. Territoires numérique. 10p.
- Idder, T. (2007).** Le problème des excédents hydriques à Ouargla: situation actuelle et perspectives d'amélioration. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18(3), 161-167.
- Idder, M.A., Ighili, H., Mitiche, B., Chenchouni, H., (2015).** Influence of date fruit biochemical characteristics on damage rates caused by the carob moth (*Ectomyelois ceratoniae*) in Saharan oases of Algeria. *Scientia Horticulturae*, 190, 57–63. DOI: [10.1016/j.scienta.2015.04.015](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.015)

- Ismael, H. (2015).** Evaluation Of Present-Day Climate-Induced Desertification In El-Dakhla Oasis, Western Desert Of Egypt, Based On Integration Of MEDALUS Method, GIS And RS Techniques. *Present Environment and Sustainable Development*, 9(2), 47-72.
- Janati, A. (1990).** Les cultures fourragères dans les oasis. *CIHEAM- Options Méditerranéennes*, Sér. A/n°11, p.163.
- Jaradat, A.A. (2015).** Biodiversity, Genetic Diversity, and Genetic Resources of Date Palm. In: Al-Khayri, J.M. Jain, S.M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands. pp. 19-71. DOI: 10.1007/978-94-017-9694-1_2
- Jaradat, A.A. (2016).** Genetic Erosion of *Phoenix dactylifera* L.: Perceptible, Probable, or Possible. In: Ahuja M.R., Jain, S.M. (eds.). *Genetic Diversity and Erosion in Plants*. Springer International Publishing. pp. 131-213. DOI: 10.1007/978-3-319-25954-3_4
- Jauffret, S. (2001).** *Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long term dans les écosystèmes méditerranéens arides: application au suivi de la désertification dans le Sud tunisien* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 3).
- Jauffret, S., Visser, M. (2003).** Assigning life-history traits to plant species to better qualify arid land degradation in Presaharian Tunisia. *Journal of Arid Environments*, 55(1), 1-28.
- Jean, D., Edmond, B. (2001).** *Les milieux désertiques*. Paris :ARMOND COLIN. Chap. 5, L'homme et les milieux arides,p.229-230.
- Jerraya, A. (1990).** Principaux ravageurs du Palmier dattier et moyens préconisés pour les combattre. *CIHEAM- Options méditerranéennes*, p.183.
- Johnson, D. V., Al-Khayri, J. M., & Jain, S. M. (2015).** Introduction: Date Production Status and Prospects in Africa and the Americas. In *Date Palm Genetic Resources and Utilization*(pp. 3-18). Springer, Dordrecht.
- Jouve, A. (1997).** La question de la modernisation des agricultures méditerranéennes : éléments de recherche. *CIHEAM- Options Méditerranéennes, Sér. A/ n°29*.p.44.
- Kadi-Hanifi, H. (2003).** Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l 'Algérie. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 14(3), 169-179.
- Kamal El-din, A. (1990).** Water Management in oases. *CIHEAM- Options Méditerranéennes*, Sér. A/n°11, p.223.
- Karnieli, A. (1997).** Development and implementation of spectral crust index over dune sands. *International Journal of Remote Sensing*, 18(6), 1207-1220. DOI: 10.1080/014311697218368

- Kasccaenuppakarn, P., Roonyiboonsopit, D., Karimi, H., A. (2010).** Current Trends and future directions in GIS. In Karimi, H., A. (éd.), Akinci, B. (éd.). *CAD and GIS Integration*. New York : Taylor et Francis. p. 28-30.
- Kassah, A. (2009, February).** Oasis et aménagement en zones arides. Enjeux, défis et stratégies. In *Gestion des ressources naturelles et développement durable des systèmes oasiens du Nefzaoua* (pp. 6-p). Cirad.
- Kawy, W.A.M.A., El-Magd, I.H.A. (2013).** Use of satellite data and GIS for assessing the agricultural potentiality of the soils South Farafra Oasis, Western Desert, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(7), 2299-2311. DOI: 10.1007/s12517-012-0518-5
- Kazi Tani, C., Le Bourgeois, T., Munoz, F. (2010).** Contribution à l'étude des communautés d'adventices des cultures du secteur phytogéographique Oranais (nord-ouest algérien): aspects botanique, agronomique et phyto-écologique.
- Kergormad, C. (2009).** La Télédétection aéro-spatiale : Une introduction. Ecole normale supérieure, Paris, pp 6-21.
- Kettout, A., Rahmania, F., Azouaoui, T. (2008).** Effet des extraits de feuilles de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) sur la production de phytotoxines et sur la croissance de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal du bayoud. *Revue des régions arides*, (21), 1136-1145.
- Khadhi, M.S., Ben salah, M., Jeder, H. (1995).** Les composantes de l'agriculture oasienne. In Coudé-Gaussen, G. (éd.), Rognon, P. (éd.). *Désertification et aménagement au Maghreb*. Paris : L'Harmattan. p.193.
- Khadraoui, A. (2010).** *Sols et hydraulique agricole dans les Oasis algériennes: caractérisation-Contraintes et porpositions d'aménagement*. Office des Publications Universitaires.
- Khadraoui, A. (2011).** *Eau et Imact Environnemental dans le Sahara Algérien, Définitions, evaluation et perspectives de protection*. Office des Publications Universitaires.
- Khaznadar, M., Vogiatzakis, I. N., Griffiths, G. H. (2009).** Land degradation and vegetation distribution in Chott El Beida wetland, Algeria. *Journal of Arid Environments*, 73(3), 369-377.
- Khierallah, H.S., Bader, S.M., Ibrahim, K.M., Al-Jboory, I.J. (2015).** Date Palm Status and Perspective in Iraq. In: Al-Khayri, J.M. Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands. pp. 97-152. DOI: 10.1007/978-94-017-9707-8_4

- Khorram, S., Van der Wiele, C. F., Koch, F. H., Nelson, S. A., & Potts, M. D.** (2016). *Principles of applied remote sensing*. Springer.
- King, C., Thomas, D.S.** (2014). Monitoring environmental change and degradation in the irrigated oases of the Northern Sahara. *Journal of Arid Environments*, 103, 36-45. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2013.12.009
- Köhl, M., Magnussen, S. S., Marchetti, M.** (2006). *Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory*. Springer Science Business Media.
- Kosmas, C., Kirkby, M. J., et Geeson, N. (Eds.).** (1999). *The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use: Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification*. Directorate-General Science, Research and Development.
- Kouzmine, Y.** (2012). Le Sahara algérien. *Intégration nationale et développement régional. Paris: L'Harmattan*.
- Krueger, R. R.** (2015). Date palm status and perspective in the United States. In *Date palm genetic resources and utilization* (pp. 447-485). Springer Netherlands.
- Kwarteng, A., Small, C.** (2010). Remote sensing of urban environmental conditions. In *Remote sensing of urban and suburban areas* (pp. 267-287). Springer Netherlands.
- Labed, K., Hamdadou, D., Fizuzi, H.** (2009). Proposition d'un processus décisionnel pour l'aménagement du territoire. PRODUSMAGT, Journées d'animation scientifique, Alger, 1p.
- Ladisa, G., Todorovic, M., et Liuzzi, G. T.** (2012). A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 49, 103-113.
- Laffly, D.** (1997). Ecologie, télédétection et SIG: les écotopes du grand tetras dans le Haut-Jura. *Mappemonde*, 3, 27-30.
- Lamchin, M., Lee, J.Y., Lee, W.K., Lee, E.J., Kim, M., Lim, C.H., et al.** (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research*, 57(1), 64-77. DOI: 10.1016/j.asr.2015.10.006
- Lasram, M.** (1990). Les systèmes agricoles oasiens dans le Sud de la Tunisie. *Revue options méditerranéennes, CIHEAM*, 21-27.
- Laurencien, B.** (2006). Les systèmes d'Information Géographiques Arc View 9.1 et 3 D Analyst. Cours SIG- Arc View 9.1, ENSA paris Belleville, p. 27.

- Le Tourneau, F-M., Albert, B. (2005).** Usage d'images TM et ETM+ de Landsat dans un contexte Pluridisciplinaire : Orpaillage, Agriculture Amérindienne et régénération naturelle en territoire Yanomami (Amazonie Brésilienne). *Téledétection*, vol. 4, n°4, p.362.
- Legrois, J-P. 1996.** Cartographies des sols, de l'analyse spatiale à la gestion des territoires. Lausanne : 1^{ère} Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes. p.1,41.
- Le Houérou, H. N. (1993).** Changements climatiques et désertisation. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 4(2), 95-111.
- Le Houérou, H. N. (1995).** *Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique*. Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes, Institut agronomique méditerranéen de Montpellier ; Agence de coopération culturelle et technique.
- Lekouch, I., Rognon, P., Kabbachi, B., Benssaou, M., Ezaidi, A. (2010).** Essai de morphométrie sur un système dunaire du Sud-Ouest marocain à partir d'une image Landsat. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 21(1), 54-62.
- Litnhouvongs, M. N., & Ricaud, R. (2013).** Premiers mois d'une maison de répit et de soins palliatifs pédiatriques. *Médecine Palliative: Soins de Support-Accompagnement-Éthique*, 12(1), 42-47.
- Liu, W., Liu, M. (2001).** Reversing Desertification with *Tamarix* in China. In: Pasternak, D., Schlissel, A. (eds.). *Combating Desertification with Plants*. Springer, US. pp. 301-313. DOI: 10.1007/978-1-4615-1327-8_29
- Liu, S., Wang, T., Kang, W., David, M. (2015).** Several challenges in monitoring and assessing desertification. *Environmental Earth Sciences*, 73(11), 7561-7570.
- Lliboutry, L. (1992).** *Sciences géométriques et télédétection*. Paris : Masson. Chap. 16, Applications de l'imagerie satellitaire, p. 252.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005).** *Geographic information systems and science*. John Wiley & Sons.
- Lu, R. (2001).** Combating desertification with sea buckthorn. In: Pasternak, D., Schlissel, A. (eds.). *Combating Desertification with Plants*. Springer, US. pp. 291-299. DOI: 10.1007/978-1-4615-1327-8_28
- Lu, Z., Qu, Y., & Qiao, S. (2014).** Geodetic Datum and Geodetic Control Networks. In *Geodesy* (pp. 71-130). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Luedeling, E., Buerkert, A. (2008).** Typology of oases in northern Oman based on Landsat and SRTM imagery and geological survey data. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 1181-1195. DOI: 10.1016/j.rse.2007.08.007

- Magurran, A. E. (2004).** Measuring biological diversity. Blackwells.
- Mahamane, A., Mahamane, S., Yacoubou, B., Issaka, A., Ichaou, A., Saley, K. (2007).** Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18(4), 296-304.
- Maimouni, S., Bannari, A., El-Harti, A., El-Ghmari, A. (2012).** Indices spectraux et "spectral angle mapper" pour la cartographie des risques d'érosion hydrique à partir des données Ali EO-1. *Téledétection*, vol. 10, n° 4, p.221.
- Maktav, D., Sunar, F. (2010).** Remote sensing of urban land use change in developing countries: An example from Büyükçekmece, Istanbul, Turkey. In *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas* (pp. 289-312). Springer Netherlands.
- Maman, S., Blumberg, D.G., Tsoar, H., Mamedov, B., Porat, N. (2011).** The Central Asian ergs: A study by remote sensing and geographic information systems. *Aeolian Research*, 3(3), 353-366. DOI: 10.1016/j.aeolia.2011.09.001
- Mas, J. F., Velázquez, A., Palacio-Prieto, J. L., Bocco, G. (2003).** et inventaire forestier au Mexique. *Bois et forêts des tropiques*, (275), 1.
- MATE. (Janvier 2002).** Plan National d'Actions pour l'Environnement et le développement durable (PNAE-DD).p.39.
- McCue, K. F., & Hanson, A. D. (1990).** Drought and salt tolerance: towards understanding and application. *Trends in Biotechnology*, 8, 358-362.
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., Westoby, M. (2006).** Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in ecology et evolution*, 21(4), 178-185.
- Mechebbek, K (1990).** Ressources en eau, irrigation et production alimentaire présentation sommaire du cas de l'Algérie. *CIHEAM- Options méditerranéennes*, p.11.
- Médail F, Roche P, Tatoni T (1998).** Functional groups in phytoecology: an application to the study of isolated plant communities in Mediterranean France. *Acta Oecol.* 19:263–274.
- Melouhi, M.S. (2006).** Lutte contre la désertification en Algérie : «de l'expérience à l'action». Communication at the Conference, La lutte contre la désertification et l'impératif international de politique de soutien, 17-19 décembre 2006, pp.97-99.
- Merabet, L. (2009).** Vulnerability Of The Lower Sahara And The Human Impact On The Increase Of Desertification (The Case Of Oued Righ And Oued Souf Region). In *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data* (pp. 229-240). Springer, Dordrecht.

- Mercier, M. (2002).** *Forêt habitée et développement durable: le cas d'un parc expérimental de la nordicité à Ville de La Baie.* Université du Québec à Chicoutimi.
- Mesev, V. (2010).** Classification of urban areas: inferring land use from the interpretation of land cover. In *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas* (pp. 141-164). Springer Netherlands.
- Messar, E. M. (1996).** Le secteur phoenicicole algérien: situation et perspectives à l'horizon 2010. *Options méditerranéennes, 2.*
- M'hamed, R. (2005).** Les risques écologiques en Algérie, quelle riposte. Les éditions APIC. Algérie.p.151.
- Michel, A., Godeau, J-M., Malaisse, F., Oser, A., Yépez, I. (2002).** Méthode de l'interdisciplinaire, le cadre méthodologique interdisciplinaire, un outil d'analyse intégrée de la gestion de ressource naturelles par les acteurs locaux. Belgique : Presses universitaires de Louvain.p.47,48.
- Mihai, B., Savulescu, I., Sandric, I., Oprea, R. (2006).** Application de la detection des changements à l'étude de la dynamique de la végétation des Monts de Bucegi (Carpathes Méridionales, Roumanie). *Télétection, 6(3), 215-231.*
- Miloudi A.M., Remini, B. (2011).** MECANISME ET REMEDES DE LA REMONTEE DES EAUX DE LA NAPPE TRADITIONNELLE DE LA REGION DU SOUF. 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara : Evaluation, Economie et Protection, le 19 et 20 janvier 2011(ouargla).415-422.
- Ali, M. I. H. I. (2012).** La forêt de Zenadia (Haute Plaine Sétifienne) Diagnostic et perspective de protection.
- Mihi, A., Tarai, N., & Chenchouni, H. (2017).** Can palm date plantations and oasisification be used as a proxy to fight sustainably against desertification and sand encroachment in hot drylands?. *Ecological Indicators.* DOI: [10.1016/j.ecolind.2017.11.027](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.027)
- Mohamed, E. S. (2013).** Spatial assessment of desertification in north Sinai using modified MEDLAUS model. *Arabian Journal of Geosciences, 6(12), 4647-4659.*
- Monod, T. (1992).** Du Désert. *Sécheresse.* Vol. 1, n°1, p. 9,10.
- Moussi, A. (2016).** Analyse systématique et étude bio-écologique de la faune des acridiens (Orthoptera, Acridomorpha) de la région de Biskra.
- Mtimet, A., Hachicha, M. (1995).** Salinisation et hydromorphie dans les oasis tunisiennes. *Science et changements planétaires/Sécheresse, 6(4), 319-324.*

- Mubiru, R. (2001).** Combating Desertification with Trees. In: Pasternak, D., Schlissel, A. (eds.). *Combating Desertification with Plants*. Springer US. pp. 419-426. DOI: 10.1007/978-1-4615-1327-8_40
- Nahal, I. (1999).** Principes d'agriculture durable. De Boeck Secundair.
- Nahal, I. (2004).** La désertification dans le monde : Causes-Processus-Conséquences-Lutte. Editions. L'Harmattan. P.33-83.
- Nancy, J., Obermeyer, M., Jeffery, K.P. (2008).** Managing geographic information system. 2nd Ed. The GUILFORD PRESS, New York , 57p.
- Navulur, K. (2006).** *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC press.
- Neffar, S., Chenchouni, H., Beddiar, A., Redjel, N. (2013).** Rehabilitation of degraded rangeland in drylands by Prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations: effect on soil and spontaneous vegetation. *Ecologia Balkanika*, 5(2), 63-76.
- Nezzar, A., Younsi, S., Mostephaoui, T., Assami, T., Benazzouz, M.T. (2007).** Risque d'ensablement dans la région des Ziban : "Loutaya-Oumeche". Communication présentée aux actes des journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-arides, Biskra du 15 au 17 Décembre 2007.p.379.
- N'Guessan, É., Bellan, M-F., Blasco, F. (2003).** Suivi par Télédétection spatiale d'une Forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques. *Télédétection*, vol. 3, n°5, p.448.
- N'Guessan Kouakou, E., Orega Y., Mamadou F. (2004).** Étude par télédétection de l'évolution de l'environnement périlagunaire en Côte-d'Ivoire. In Bonn, F. (éd.). *Télédétection de l'environnement dans l'espace phrancophone*. Québec : Presses de l'université du Québec, Canada, p.152.
- Noy-Meir, I. (1973).** Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 25-51.
- Norfolk, O., Eichhorn, M. P., Gilbert, F. (2013).** Traditional agricultural gardens conserve wild plants and functional richness in arid South Sinai. *Basic and Applied Ecology*, 14(8), 659-669.
- ORSTM. (1977).** Les satellites d'observation de la terre LANDSAT. Documentation techniques n°34. Paris, 4p.

- Osman, A. K., Al-Ghamdi, F., Bawadekji, A. (2014).** Floristic diversity and vegetation analysis of Wadi Arar: A typical desert Wadi of the Northern Border region of Saudi Arabia. *Saudi journal of biological sciences*, 21(6), 554-565.
- Oudjet, A., Rabia, A. (2008).** Conception et réalisation d'un système d'information géographique(SIG) pour l'aide à la gestion des ressources en eau. Mém. Ing. I.N.I. Alger, 21p.
- Ozenda, P. (1982).** Flore et végétation du Sahara.Paris :CNRS.3^{ème} Ed.662p.
- Ozenda, P. (1991).** Flore et végétation du Sahara.Paris :CNRS.3^{ème} Ed.662p.
- Ozenda, P. (2004).** Flore et végétation du Sahara.Paris :CNRS.3^{ème} Ed.662p.
- Pain-Orcet, M., Lo Seen, D., Fauvet, N. (2000).** Les cartes, la télédétection et les SIG, des outils pour la gestion durable des forêts tropicales d'Afrique centrale. *Bois et forêts des tropiques*, (265), 7-20.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., R Core Team (2015).** Nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-120. URL: <http://cran.r-project.org/package=nlme>
- Potchter, O., Goldman, D., Kadish, D., & Iluz, D. (2008).** The oasis effect in an extremely hot and arid climate: The case of southern Israel. *Journal of Arid Environments*, 72(9), 1721-1733.
- Pouget, M. (1980).** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises.
- Van der Pijl, L. (1982).** *Principles of dispersal*. Berlin: Springer-Verlag.
- Quézel, P., Santa, S. (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales-v. 1-2.
- Quézel, P. (1978).** Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 479-534.
- Quézel, P. (1995).** La flore du bassin méditerranéen: origine, mise en place, endémisme. *Ecologia mediterranea*, 21(1-2), 19-39.
- Rahal Bouziane, H. (2006).** Fourrages cultivés des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt: caractéristiques ethnobotaniques, morphologiques et valeur alimentaire. *Algérie. Edition INRAA*. 42p.
- Ramade, F. (1993).** *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*. Ediscience international.

- Randriamanga, S., Collet, C., Rakotondraompiana, S., Randrianarison, L. T. (2003).** Étude par télédétection des géorisques dans la région d'Anjozorobe, Madagascar. *Télédétection*, 3(2-4), 131-149.
- Rasmy, M., Gad, A., Abdelsalam, H., Siwailam, M. (2010).** A dynamic simulation model of desertification in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 13(2), 101-111.
- Raunkiaer, C. (1934).** The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer. *The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer*.
- Rekis, A. (2012).** *Etude spatio-temporelle du changement de la végétation de la région ouest de Biskra. Approche cartographique par télédétection*. (Magistral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P., Huber-Sannwald, E. (2007).** Global desertification: building a science for dryland development. *Science*, 316(5826), 847-851. DOI: 10.1126/science.1131634
- Riou, Ch. (1990).** Bioclimatologie des oasis. *CIHEAM- Options Méditerranéennes*, Sér. A/n°11, 220 p.
- Rolf, A., & de By, R. A. (2000).** Principles of geographic information systems. *The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Hengelosestraat, 99*.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.H., Harlan, J.C. (1974).** Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation, NASA/GSFC, Greenbelt, MD.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... Scambos, T. A. (2014).** Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172.
- Sahli, Z. (1997).** Deux tentatives contreversées de modernisation de l'agriculture en zone aride. *CIHEAM-Options Méditerranéennes, série, (2)*, 283-295.
- Saker, M. L., Daddi, B. (2007).** Les ressources naturelles sahariennes : gestion et impact sur le développement agricole. *Annales de la faculté des Sciences de l'Ingénieur*. Vol.1, n°2. p.95.
- Salah, M.B. (2015).** Date palm status and perspective in Sub-Saharan African Countries: Burkina Faso, Chad, Ethiopia, Mali, Senegal, and Somalia. In: Al-Khayri, J.M. Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands. pp. 369-386. DOI: 10.1007/978-94-017-9694-1_10

- Salamani, M., Kadi Hanifi, H., Hirche, A., Nedjpaoui, D. (2013).** Évaluation de la sensibilité à la désertification en Algérie. *Revue d'écologie*, 68(1), 71-84.
- Salvati, L., et Bajocco, S. (2011).** Land sensitivity to desertification across Italy: past, present, and future. *Applied Geography*, 31(1), 223-231.
- Sayemuzzaman, M., Jha, M. K. (2014).** Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research*, 137, 183-194.
- Scanvic, J. Y. (1995).** Observation spatiale et SIG: des outils pour cartographier les zones sensibles aux mouvements de terrain (Remote sensing and GIS: tools for the mapping of areas at risk from landslide). In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* (Vol. 6, No. 32, p. 285A).
- Sedra, M.H. (2015).** Date Palm Status and Perspective in Morocco. In *Date Palm Genetic Resources and Utilization* (pp. 257-323). Springer Netherlands.
- Sghaier, M. (1995).** Les agrosystèmes de production oasiens et leur rôle socio-économique, cas des oasis tunisiennes. *Désertification et Aménagement au Maghreb, L'Hartmann: Paris*, 203-213.
- Sghaier, M. (1997).** Modernisation agricole et impératifs de durabilité méditerranéenne. *CIHEAM- Options Méditerranéennes, Sér. A / n°29*, p.245.
- Shanzhong, Q., Xiaoyu, L. (2010).** Effect of population pressure on oasis agriculture (1984–2003) in Jinta Oasis, arid Northwestern China. *The Environmentalist*, 30(2), 131-132. DOI: [10.1007/s10669-009-9252-2](https://doi.org/10.1007/s10669-009-9252-2)
- Sivakumar, M. V. K., Roy, P. S., Harmsen, K., & Saha, S. K. (2004).** Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology. In *Proceedings of the Training Workshop in Dehradun, India. AGM-8, WMO/TD* (No. 1182).
- Skidmore, A. (Ed.). (2003).** *Environmental modelling with GIS and remote sensing*. CRC Press.
- Skouri, M. (1990).** Eléments de synthèse et conclusions. *CIHEAM- Options Méditerranéennes, Sér. A/n°11*, p.331.
- Some'e, B. S., Ezani, A., Tabari, H. (2012).** Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran. *Atmospheric research*, 113, 1-12.
- Stavi, I., Lal, R. (2015).** Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments*, 112, 44-51. DOI: [10.1016/j.jaridenv.2014.01.016](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.016).
- Steinberg, J. (2002).** *Cartographie: systèmes d'information géographique et télédétection*.

- Stewart, P. (1968).** Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique: quelques réflexions. *Soc Hist Natur Afr Nord Bull.*
- Tébourbi, R. (2006).** SIG- Télédétection partie 1 : Télédétection. SUP'COM, 6p.
- Tengberg, M. (2014).** Date Palm: Origins and Development. In: Smith, C. (ed.). *Encyclopedia of Global Archaeology.* Springer, New York. pp. 2033-2035. DOI: 10.1007/978-1-4419-0465-2_2175
- Thierno, A.W. (2008).** Initiation à Map Info Professional, étapes cartographique et élémentaire avec Map Info Professional. Ed. ENPC-LVMT, Marne, 3p.
- Toutain, G. (1990).** Conservation des sols en palmeraies sahariennes et bordurières au Sahara. *CIHEAM-Options méditerranéennes.* n°25, p.65, 68.
- Toutain, G., Dollé, N., Ferry, M. (1998).** Situation des systèmes oasiens en régions chaudes. Communication présentée au séminaire "les systèmes agricoles oasiens" Tozeur (Tunisie), 19-21 novembre 1998, p.8-9.
- Tripathi, N.K., Rai, B.K., Dwivedi, P. (1997).** Spatial modeling of soil alkalinity in GIS environment using IRS data. In *The 18th Asian Conference on Remote Sensing*, Kuala Lumpur.
- Tsayem, M. (2000).** SIG et cartographie de l'occupation du sol: l'exemple de Saint-Georges de l'Oyapock en Guyane française. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 10(4), 289-295.
- USGS. (2014).** Frequently Asked Questions about the Landsat Missions (http://landsat8document/band_designations_landsat_satellites.php (bande wave length).html)
- Van den Elsen, E., Jetten, V. (2015).** Combatting desertification using a multidisciplinary approach. *Catena*, (128), 211-213.. DOI : 10.1016/j.catena.2014.10.001.
- Vergely, P., 2010 –** *Initiation Aux cartes et Aux coup géologiques.* Paris : 2ème Ed. p. 9.
- Verbyla, D. L. (2003).** *Practical GIS analysis.* CRC press.
- Vicente-Serrano, S.M., Pérez-Cabello, F., Lasanta, T. (2008).** Assessment of radiometric correction techniques in analyzing vegetation variability and change using time series of Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3916-3934. DOI: [10.1016/j.rse.2008.06.011](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.011)
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E. (2007).** Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Wa Ilunga, E. I., Mahy, G., Piqueray, J., Séleck, M., Shutcha, M. N., Meerts, P., Faucon, M. P. (2015).** Plant functional traits as a promising tool for the ecological restoration of

degraded tropical metal-rich habitats and revegetation of metal-rich bare soils: A case study in copper vegetation of Katanga, DRC. *Ecological engineering*, 82, 214-221

Wang, X. (2013). Sandy desertification: borne on the wind. *Chinese Science Bulletin*, 58(20), 2395-2403. DOI: 10.1007/s11434-013-5771-9

Wang, Y., Li, Y., Xiao, D. (2008). Catchment scale spatial variability of soil salt content in agricultural oasis, Northwest China. *Environmental Geology*, 56(2), 439-446. DOI: 10.1007/s00254-007-1181-0

Weiherr, E., Werf, A., Thompson, K., Roderick, M., Garnier, E., Eriksson, O. (1999). Challenging Theophrastus: a common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of vegetation science*, 10(5), 609-620.

Weng, Q. (2010). *Remote sensing and GIS integration: theories, methods, and applications* (p. 416). New York: McGraw-Hill.

Wilson, E.H., Sader, S.A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385-396. DOI: [10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2)

Xie, Y., Wang, G., Wang, X. (2015). Spatio-temporal process of oasisification in the middle-Heihe River basin during 1368–1949 AD, China. *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1663-1678. DOI: 10.1007/s12665-014-3519-8

Yaish, M. W., Kumar, P. P. (2015). Salt tolerance research in date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), past, present, and future perspectives. *Frontiers in plant science*, 6, 348. DOI: 10.3389/fpls.2015.00348

Yang, H., Lu, Q., Wu, B., Zhang, J., & Lin, Y. (2006). Vegetation diversity and its application in sandy desert revegetation on Tibetan Plateau. *Journal of arid environments*, 65(4), 619-631.

Yeung, A. K., Hall, G. B. (2007). *Spatial database systems: Design, implementation and project management* (Vol. 87). Springer Science Business Media.

Zella, L. Smadhi. D. (2006). Gestion de l'eau dans les oasis algériennes. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n 05. P 150-154.

Zemali, Kh., Zerougui, S. (2015). Traits fonctionnels des espèces végétales dans les milieux dégradés (Planté et abandonné) dans la région de Tébessa (Station de Ain Zaroug) (Master 2dissertation, Université Université de Tébessa-Tébessa).

Zidane, L., Salhi, S., Fadli, M., El Antri, M., Taleb, A., Douira, A. (2010). Etude des groupements d'adventices dans le Maroc occidental. *Biotechnologie, Agronomie, Société et*

Environnement, 14(1), 153.

Zinck, J. A., Metternicht, G. (2009). Soil salinity and salinization hazard. *Remote sensing of soil salinization: Impact and land management*. CRC Press, Boca Raton, FL, 3-20.

Zhang, X., Zhang, L., He, C., Li, J., Jiang, Y., Ma, L. (2014). Quantifying the impacts of land use/land cover change on groundwater depletion in Northwestern China—A case study of the Dunhuang oasis. *Agricultural water management*, 146, 270-279.

Zhou, X., Wan, L., Fang, B., Cao, W.B., Wu, S.J., Hu, F.S., Feng, W.D. (2004). Soil moisture potential and water content in the unsaturated zone within the arid Ejina Oasis in Northwest China. *Environmental Geology*, 46(6-7), 831-839. DOI: 10.1007/s00254-004-1068-2

Zucca, C., Biancalani, R., Kapur, S., Akça, E., Zdruli, P., Montanarella, L., Nachtergaele, F. (2014). The role of soil information in land degradation and desertification mapping: a review. In *Soil Security for Ecosystem Management*(pp. 31-59). Springer International Publishing.





Annexes

Annexe 1. Moyennes mensuelles des données climatiques de Biskra (1984-2013).

Mois \ Variables	T.mensuel (C°)	T.mensuel maximale (C°)	T.mensuel minimale (C°)	H.R. Mensuel (%)	P. (mm)	V. Mensuel (m/s)
janv-84	12,1	17,4	7,6	48,9	1,02	18
févr-84	12,9	17,4	8,7	40,3	5,33	24
mars-84	15,8	20,9	10,4	35,6	2,03	20,1
avr-84	21,1	26,6	15,2	31,5	5,08	18,3
mai-84	23,6	29,4	17,8	26,7	0	29,9
juin-84	29,5	35,4	23,1	25,3	5,08	19,1
juil-84	33	39,4	26	21,3	0	13,4
août-84	32,6	38,4	26,6	28	7,62	15,9
sept-84	28,1	33,6	22,6	32,5	4,06	18,4
oct-84	20,8	26,3	16,4	46,5	4,58	17,9
nov-84	16,1	21,5	11,5	54,6	22,1	15,7
déc-84	12,2	17,1	8,7	54,5	0	18,4
janv-85	9,7	14,3	6,1	58,5	17,27	17,7
févr-85	16,2	21,8	11,2	40,1	1,02	16,5
mars-85	15,1	19,8	10,3	43,8	24,38	18,5
avr-85	21,9	27,9	16,1	28,5	3,05	21,8
mai-85	24	29,6	18,2	40,8	43,92	20,8
juin-85	32	38,4	25	25,8	2,28	16,3
juil-85	34,6	40,6	28,5	20,7	0	16,1
août-85	33,1	39	26,8	25,2	0	16,4
sept-85	28,1	34	22,4	33,8	2,79	12,9
oct-85	21,9	27,1	17,4	45,6	10,18	12
nov-85	17,5	22,1	13,7	52,9	7,36	16,3
déc-85	12,7	17,8	8,8	54,5	4,31	15,2
janv-86	12,1	16,5	8,2	48,9	5,08	21,9
févr-86	13,2	18,5	8,2	45,9	1,53	22,9
mars-86	15,9	20,9	11	45,1	22,35	18,6
avr-86	19,7	25,3	13,9	33,1	0,51	26,1
mai-86	27	32,9	20,5	29,9	35,3	13,7
juin-86	30,1	36	23,8	29,3	0,76	13
juil-86	32,9	39,2	25,9	24,3	0	13
août-86	34,4	40,4	28	25,5	0	13,6
sept-86	28,9	34,2	23,8	35,6	21,33	13,3
oct-86	23,2	28,2	19	48,4	10,93	15,7
nov-86	16,3	21,1	12,3	52,9	15,49	14
déc-86	11,9	16,5	8,3	62,3	13,22	15,6
janv-87	10,1	15,1	5,5	54,6	12,96	14,8
févr-87	13,4	18,3	9	47,4	21,09	22,2
mars-87	15,9	21,5	10,6	43,4	12,45	16,8
avr-87	22	27,9	15,8	28,9	1,01	18,4
mai-87	24,7	30,4	19	29,8	6,61	21
juin-87	31,4	37,2	24,9	25,6	1,02	19
juil-87	34,4	40,4	27,8	23,2	1,02	20,1
août-87	34,9	41	27,8	25,3	0,25	17,3

sept-87	31,1	37	25,4	26,8	0,51	10
oct-87	24,8	30,2	19,6	38,7	11,43	15,8
nov-87	16,4	21,1	12	47,7	11,43	15,8
déc-87	14,4	19,8	10,3	60,8	11,17	9,2
janv-88	13,9	18,7	9,3	46,9	1,52	18,7
févr-88	13,9	19,3	8,9	41,5	0,25	16,5
mars-88	16,9	22,4	11,6	36	5,09	22,3
avr-88	21,5	27,2	15,6	36,2	119,38	21,6
mai-88	27,9	33,6	21,5	30,5	1,53	24,5
juin-88	29,8	35,4	24,1	36,3	23,62	20,1
juil-88	35,4	41,7	28,7	23,8	0	15,7
août-88	34	40	28,1	29,3	0	13,9
sept-88	27,7	33,5	21,7	36,3	5,08	13,1
oct-88	24,7	30	19,5	39,5	4,32	15,1
nov-88	17,7	21,9	13,9	54,1	15,49	10,9
déc-88	11,8	16,7	7,7	56,5	6,35	16,5
janv-89	11,4	16,6	6,8	51,4	3,05	10,8
févr-89	13,5	18,7	8,7	48,3	6,35	13,2
mars-89	18,7	24,5	13	35,1	1,02	20,7
avr-89	20	25,3	14,9	37,9	10,92	28,1
mai-89	26	31,9	19,1	28,2	0	36,1
juin-89	28,3	33,5	22,6	33,8	21,84	16,6
juil-89	33,3	39	27,3	25,5	0	12,8
août-89	34,4	40,3	28,7	26,6	0	14,9
sept-89	29,4	34,3	24,4	38,6	19,56	18,3
oct-89	22,9	27,7	18,5	49,3	1,02	11
nov-89	17,5	22	13,6	50,1	5,84	11,6
déc-89	15,4	20	11,5	55,5	3,3	9,3
janv-90	13	16,5	9,9	59,6	27,96	15,7
févr-90	16,1	21,5	11,4	45,7	0	13,7
mars-90	17,9	22,6	13,4	41,8	1,53	11,7
avr-90	19,5	24,3	14,8	43,7	26,17	21,5
mai-90	23,4	28,2	18,8	53,3	30,48	13,4
juin-90	31,8	37,3	25,8	27,7	2,79	16,6
juil-90	33,1	39	26,9	26,2	2,03	13,3
août-90	31,3	36,6	25,9	36,1	26,16	11,9
sept-90	31,9	37,6	26,2	27,7	5,33	13,2
oct-90	25	30,1	20,1	35,5	0	18,3
nov-90	17,3	21,5	13,6	53,5	22,1	18,8
déc-90	10,9	15,3	6,7	49,2	0	13,2
janv-91	10,7	15,7	6,6	57,7	2,03	11,5
févr-91	12,7	17,2	8,5	48,8	14,99	18,4
mars-91	17,4	22,6	12,7	42,9	47,24	23,9
avr-91	18,8	23,9	13,8	39,1	2,28	19,8
mai-91	22,5	28,3	16,6	31,2	5,08	21,6
juin-91	30,5	36,6	24,3	28,3	1,02	12,9
juil-91	34,5	40,7	27,8	22,7	0	14
août-91	34,1	40,3	27,6	24,8	2,54	14
sept-91	28,9	34,7	23,6	38,9	16	13,2
oct-91	22,6	27,5	17,9	45,5	32,51	19,7

nov-91	15,7	20,8	11,4	45,5	4,06	15,2
déc-91	11,6	15,7	8	57,5	10,68	12,8
janv-92	9,8	14,5	5,5	62,3	18,8	7,7
févr-92	12,9	18,6	7,6	47,3	4,31	10,5
mars-92	16,2	21,3	11,7	45,5	22,35	18,4
avr-92	20	25,2	14,7	30,4	9,65	22,4
mai-92	24,7	30,5	19	34,2	9,91	18,6
juin-92	28,6	34	22,8	25,9	0,51	25,6
juil-92	32	37,8	25,9	30,2	8,12	15,4
août-92	33,6	39,6	27,6	27,5	0,51	16
sept-92	29,5	35,4	24	36,1	25,4	15,5
oct-92	23,5	29	18,1	38,2	1,02	20,4
nov-92	17,4	22,5	13,4	54,8	89,4	19,4
déc-92	12,9	17,7	8,7	54,3	2,54	16,9
janv-93	11	17,1	6	48,6	0	10,9
févr-93	12,5	16,8	8,4	53,7	43,43	15,9
mars-93	15,5	20,7	10	45,8	29,21	11,9
avr-93	20,5	26,4	14,7	33	0	21,8
mai-93	26,5	32,4	19,8	28,8	7,11	21,1
juin-93	32,5	38,7	25,6	26,4	0	17,5
juil-93	34,2	40,1	27,9	25,2	0	15,4
août-93	34,1	40	27,5	24,5	0	13,9
sept-93	28,7	34,2	23,1	33,8	56,14	17,4
oct-93	24,1	29,3	18,9	37,4	0	17,7
nov-93	16,8	21,4	12,8	57,2	17,53	13,5
déc-93	12,6	18,1	8,6	55,8	143,77	14,4
janv-94	13,8	18,6	9,5	49	0	22,1
févr-94	15	20,2	10,3	38	0	19,9
mars-94	18,6	24,5	12,5	39,9	128,22	12
avr-94	19,1	24,6	13	31,6	0	25,7
mai-94	28,7	35,3	21,4	23,6	0	22,5
juin-94	31,8	38,3	24,9	24,5	2,03	18,7
juil-94	34,4	40,9	27,7	25,1	55,12	14,6
août-94	35,1	41,7	28,4	24,1	3,05	15,3
sept-94	28,6	33,8	23,7	42,9	10,9	15,5
oct-94	22	26,8	18	60,5	49,03	12
nov-94	17,8	23,2	13,4	54,8	1,02	12,8
déc-94	12,5	18,3	7,6	54,3	0	14,6
janv-95	11,3	16,7	6,5	49,7	4,06	19,8
févr-95	15,9	22,1	10,3	42,6	2,03	17,3
mars-95	16,3	22,3	10,7	39,6	7,62	16,9
avr-95	19,2	25,2	12,6	31,1	4,06	17
mai-95	26,4	32,4	20,2	26,6	0	20,1
juin-95	30,6	36,4	24,3	28,3	2,54	16,5
juil-95	34,2	40,3	27,7	26,2	0	15,5
août-95	32,7	38,7	26,6	30,9	1,27	14,6
sept-95	27,6	32,9	22,4	42,1	227,33	16,4
oct-95	22,8	28	17,9	49,7	4,06	6,8
nov-95	16,8	22,1	11,6	45,5	16,25	18,8
déc-95	13,5	17,8	9,8	69,4	17,02	13,9

janv-96	13,3	17,4	10	65,6	61,47	16,3
févr-96	12,1	16,3	8	56,6	23,36	21,4
mars-96	15,8	21	10,7	56,1	56,14	14,1
avr-96	20,1	25,7	14,6	41,9	0,51	17,9
mai-96	25,4	31,2	19	33,9	2,04	19,9
juin-96	28,3	34,1	22,5	36,5	6,1	15,7
juil-96	32,4	38,7	25,9	27,8	97,03	14,5
août-96	34,1	40,4	27,7	29,4	8,64	17,8
sept-96	27	32,6	21,4	36,5	9,4	19,4
oct-96	20,8	26,8	15,2	42,2	1,02	18,2
nov-96	16,6	22,2	11,3	47,8	23,88	17,7
déc-96	12,8	18,2	8	53,8	3,05	15,1
janv-97	12,9	18	8,4	54,5	15,25	15,2
févr-97	15,5	22,2	9,3	42,8	5,08	13,3
mars-97	16,7	23,2	10	37,4	9,15	13,1
avr-97	19,3	24,8	14	47,6	71,63	20,4
mai-97	26,3	32,3	19,3	30,7	0	19,4
juin-97	33,1	39,4	26,2	23,1	7,87	22,2
juil-97	34,8	41	27,9	24,6	0	21,4
août-97	33,3	38,7	27,8	31,1	0,51	16,6
sept-97	28,3	33,3	23,5	41,6	7,38	13,1
oct-97	23	28,5	18,1	46,6	13,21	16,5
nov-97	16,5	21,2	12,3	58,4	43,95	19,6
déc-97	13	17,8	9,1	55,6	18,03	19,2
janv-98	12	17,2	7,4	56,1	0	17,3
févr-98	14,2	19,7	9,1	53,1	15,76	15
mars-98	16,7	23,4	10,5	36,4	1,53	18,4
avr-98	21,4	27,2	15,5	34,4	47,5	25,9
mai-98	24,7	30,1	18,7	35,9	17,27	23,3
juin-98	31,3	37,3	24,4	27,6	11,94	18,7
juil-98	34,1	40,5	27,3	23,7	0	16,1
août-98	33,6	39,4	27,5	28,2	1,02	15,4
sept-98	30,1	35,5	24,5	35,8	2,03	20,5
oct-98	21,1	27,1	15,7	40,8	3,05	17,3
nov-98	16,1	21,6	11	44,3	0	16
déc-98	11,5	17,4	6,4	47,9	1,02	17,1
janv-99	11,8	16,2	8	65,1	0	18,6
févr-99	12,3	17,5	7	46,3	0	22,3
mars-99	16,7	22,9	11	39,5	0	19
avr-99	21,6	28	15,1	28,9	0	22,5
mai-99	29,1	35,1	22,4	24,6	0	21,1
juin-99	33,5	39,8	26,7	24,6	0	18,1
juil-99	33,9	40,1	27,7	25,9	0	19,8
août-99	36,3	42,4	29,8	23,8	0	15,1
sept-99	30,2	35,4	24,9	35,6	0	18,6
oct-99	25,3	30,8	19,9	42,3	12,19	14,6
nov-99	15,6	20,8	11,7	55,9	41,4	17,5
déc-99	11,7	16,1	7,9	65,5	35,31	19
janv-00	9,4	15,3	4,6	59,4	0	13
févr-00	13,6	20,5	7,8	41,6	0	14,3

mars-00	17,8	24	11,4	36,9	3,05	15,5
avr-00	22,2	27,6	16,4	32,7	10,16	28,3
mai-00	28,9	34,5	21,9	32,5	16,5	22
juin-00	30,9	36,6	24,1	28,5	0	17,9
juil-00	34,4	40,4	27,6	24,2	0	16,8
août-00	33,3	39,8	25,8	26,1	0	12
sept-00	29,3	34,7	22,9	35,8	27,18	14,9
oct-00	21,9	29,3	16,4	48	5,59	19,4
nov-00	17	22,8	11,8	48,5	4,07	18,3
déc-00	13,2	19	8,1	52,8	6,6	14,8
janv-01	11,7	17,1	6,5	56,2	34,54	18,4
févr-01	13,3	19,5	7,6	41,5	0,25	19,2
mars-01	21,3	27,6	14,6	32,2	0	23,9
avr-01	21,5	27,7	15	31,1	0	22,9
mai-01	26,4	31,8	20,4	31,8	0,76	26,9
juin-01	32,8	38,8	25,7	23,3	0	19,9
juil-01	36	42,1	29	23,2	0	21,8
août-01	34,3	40,3	27,8	28,6	8,89	18,7
sept-01	30,2	35,4	24,5	40,9	3,04	20,4
oct-01	26,9	32,6	20,8	42,5	0,5	15,5
nov-01	16,5	21,2	11,9	55,1	17,27	18,4
déc-01	11,2	16,1	7	63,3	15,24	13
janv-02	10,7	17	4,8	56	1,27	12,5
févr-02	14,8	21,6	8,4	40	0	15,3
mars-02	19,4	25,3	12,8	34,3	0,51	23,2
avr-02	21,9	27,6	15,2	32,6	2,03	24
mai-02	26	31,8	19,2	27,5	0,51	28,4
juin-02	31,6	37,6	24,5	24,9	3,81	12,2
juil-02	34,4	40,5	27,7	26	12,7	12,4
août-02	33,4	39	27,3	28,9	5,85	16,6
sept-02	29	34,6	22,7	34,6	0,51	15,2
oct-02	23,1	29,2	17,2	43,5	12,19	10,4
nov-02	17,1	21,9	12,7	53,1	20,56	19,5
déc-02	13,9	19,3	9,4	56,1	0,76	16,5
janv-03	21,1	16,5	7,4	60,8	68,33	21
févr-03	12,2	16,9	7,3	50,1	1,53	18,6
mars-03	16,7	22,2	10,5	42,7	57,15	10,3
avr-03	21,6	27,4	15,3	36,9	4,58	21,9
mai-03	27,5	33,3	20,5	33,1	3,3	20,1
juin-03	32,7	38,7	25,1	28,4	2,03	10,3
juil-03	36,7	43	29,3	21,4	0	10,5
août-03	34,8	40,7	27,7	26	0	10,8
sept-03	29	34,5	23,1	39,1	6,1	14,1
oct-03	24,5	29,1	19,7	52,5	47,24	14,2
nov-03	17,4	22,7	12,7	56,9	1,27	14,1
déc-03	12	16,8	7,7	60,5	12,95	18,8
janv-04	12,7	18,6	7,9	55,1	1,02	17,5
févr-04	15	21,1	9,1	45,8	1,02	12,2
mars-04	17,6	23,3	11,5	46,5	107,95	17,5
avr-04	19,8	25	14,3	44,6	67,06	21,5

mai-04	23,1	28,6	17,4	41,5	38,61	19,3
juin-04	30,3	36,5	23,2	31,6	1,02	11,2
juil-04	33,4	39,7	26,5	27,7	0	10
août-04	34,7	40,8	28,4	30,6	14,99	13
sept-04	28,5	34,5	22,1	35,8	4,07	12,2
oct-04	24,6	30,8	18,6	41,3	4,31	10,6
nov-04	15,5	21,1	10,5	58,9	33,02	12,4
déc-04	12,5	17,1	8,6	66,3	30,99	15,2
janv-05	10,2	16	4,8	51,2	0	16,2
févr-05	10,8	15,9	6	49,3	18,04	14,4
mars-05	17,9	23,7	21,1	39,3	6,86	15,4
avr-05	22	27,5	15,6	31	0	19,5
mai-05	28	34,6	20,9	26,1	0	13,3
juin-05	31,9	37,7	25,2	27,8	24,89	14,4
juil-05	36	42,2	29	24,5	3,05	12,8
août-05	33,8	40,2	27,2	27,5	2,03	13,1
sept-05	28,5	34,1	22,9	43,8	3,06	12,6
oct-05	24,1	29,5	18,3	49,5	0,51	7,5
nov-05	23	28,9	17,3	46,7	0	10,1
déc-05	10,9	16	6,5	65	14,73	11
janv-06	10	14,9	5,4	59	16	15,2
févr-06	12,2	17,4	7,5	59,8	28,71	15,2
mars-06	17,8	24	11,5	42,2	0	20,4
avr-06	23,4	29,3	16,7	34,6	14,23	18,6
mai-06	28,6	34,8	21,7	32,8	2,79	16
juin-06	31,8	28,1	24,7	23,8	7,87	19,2
juil-06	34,5	40,8	27,9	27,1	0	15,3
août-06	33,9	40,1	27,6	28,3	0,76	14,3
sept-06	27,4	32,8	21,3	40	16	15,1
oct-06	24,8	31,7	18,2	40	0	12,8
nov-06	17,1	23,2	11,8	57,7	48,01	11,1
déc-06	13,1	17,8	9	64,4	10,41	13,9
janv-07	12,3	19	6,7	55,4	0	10,2
févr-07	15,6	20,8	10,6	47,9	2,03	19,7
mars-07	16,5	22,4	10,4	40,7	10,92	22,4
avr-07	20,5	26	14,6	47,7	12,95	17,8
mai-07	26,6	32,8	19,7	31,1	1,27	22
juin-07	33,1	39,5	25,9	22,5	0,51	18,6
juil-07	33,7	39,9	26,7	25,4	0	13,1
août-07	34,4	40,2	28,3	26,8	0	14,3
sept-07	29,1	34,9	23,5	41,2	36,06	15,4
oct-07	24	28,9	19	42,4	3,3	18,4
nov-07	15,9	21,8	11	44,4	0	16,6
déc-07	12,7	18,2	8	47,2	2,03	18,7
janv-08	12,1	18,7	6,3	50,8	3,05	10,6
févr-08	13,9	20	8,2	45	0	9,3
mars-08	17,8	24	11,5	37,4	1,02	19,6
avr-08	22,6	29,2	15,6	29,3	0	20
mai-08	26,6	32,4	20,6	31,8	9,15	25,1
juin-08	30,8	36,7	24,1	28,6	0	16

juil-08	36,2	42,5	29,6	23,8	0	16,5
août-08	34,4	40,5	28	29,7	0	13,2
sept-08	29,6	35	23,9	38,7	19,3	14
oct-08	22,5	27,3	17,9	59,8	22,35	11,9
nov-08	15,3	20,8	10,3	58,7	17,02	14,7
déc-08	10,9	15,9	6,6	69,6	28,2	12,2
janv-09	12	16,5	8,1	66,3	38,1	16,4
févr-09	12,1	18	6,2	50,9	7,12	16,4
mars-09	16,2	22,6	9,8	45,9	13,21	15,1
avr-09	18,7	24,7	12,6	41,9	8,89	20,3
mai-09	26,3	32,9	19,1	30,7	15,24	14,5
juin-09	32,1	38,4	24,7	24,7	0	13,5
juil-09	36	42,7	28,2	24	3,56	10,7
août-09	34,8	40,9	28,3	26	0	12,3
sept-09	27,1	32,7	21,4	50,5	32	12,2
oct-09	23	29	17,1	44,9	0	7,7
nov-09	16,9	23,8	11,1	45,9	0,25	12,3
déc-09	13,2	19,2	7,8	60,2	15,24	10,3
janv-10	12,6	18,2	7,2	55,7	15,75	0
févr-10	14,6	20,1	9	52,1	17,78	0
mars-10	18,3	23,7	12,7	44,4	23,87	9,9
avr-10	22,1	28	15,5	46,3	30,23	14,6
mai-10	24,4	30,2	18,2	33,9	7,11	19,5
juin-10	31,1	37,5	24,4	32,5	27,44	17
juil-10	35,2	41,4	28,2	26,6	0	10,7
août-10	34,4	41,1	27,9	32	4,06	10,8
sept-10	28,7	34,5	23,2	39,5	12,19	10,5
oct-10	22,5	28,4	16,7	43,9	13,97	12,6
nov-10	16,6	22,1	12	57,9	44,45	13,4
déc-10	12,4	18,1	7,4	48,6	2,03	12
janv-11	12,1	18,4	6,7	55,3	6,35	9,5
févr-11	13,2	19	7,7	47,3	0	18,8
mars-11	16	21,5	10,4	50,9	38,1	15,7
avr-11	22,1	28,5	15	46,1	38,6	14,3
mai-11	24,9	30,6	18,7	42,6	54,61	13,4
juin-11	29,8	35,8	23,4	35,5	1,01	11,4
juil-11	34,7	41,1	27,9	27,1	3,05	13,2
août-11	34,1	40,4	27,5	31,2	0	11,5
sept-11	30,3	36,6	24,4	37,1	29,21	11,6
oct-11	22,4	28,3	16,5	47,8	79	9,4
nov-11	17,4	22,6	12,7	55,4	2,79	12,3
déc-11	13,4	19,1	8,7	55,3	0	11,1
janv-12	12	18,2	6,4	48,7	0	12,6
févr-12	10,7	16,8	5,2	45,7	1,27	16,5
mars-12	17,4	23,4	10,9	40	6,35	12,2
avr-12	21,4	27,1	15,4	37,2	4,57	21,2
mai-12	27,1	33,4	19,7	29,6	0	11,8
juin-12	34,3	40,7	27,4	22,7	0	11,4
juil-12	36,5	43	29,2	22,2	0,51	11,1
août-12	35,7	42,5	28,7	24,3	0	7,7

sept-12	29,8	36	23	30	3,05	8,7
oct-12	24,5	30,3	19	40,7	84,07	10,1
nov-12	18,1	23,9	12,8	57,6	24,13	7,5
déc-12	13	18,4	8	53,4	2,03	12
janv-13	12,7	18,2	7,8	52,6	64,77	13,4
févr-13	12,3	18,7	6,7	44,6	2,03	16,2
mars-13	18,4	23,7	12,7	41,4	18,28	17,7
avr-13	22,2	28,5	15,5	33,8	24,89	14
mai-13	25,9	32,5	19,4	30,3	1,02	17,6
juin-13	30,2	36,5	22,5	26,9	20,07	13,5
juil-13	34,5	40,4	27,6	27,2	0	5,1
août-13	32,4	38,5	26,4	30,6	11,19	0
sept-13	29,8	35,1	24,3	39,9	7,11	0
oct-13	26,1	31,8	20,6	45,4	40,14	10,7
nov-13	17,3	22,6	12,5	44,1	0	0
déc-13	12,2	18,1	7,2	58,9	14,99	0,1

T : Température, H.R : Humidité Relative, P : Précipitation, V : Vent.



Annexe 2. Fiche des relevés floristiques

-Identification du Relevé

- Lieu de Relevé :

N° de Relevé :

- Zone :

- Daïra :

-Station :

-Date de :

-Coordonnées :

-Latitude:

- Longitude:

-Caractères Topographiques :

-Altitude :

-Pente :

- Exposition :

-Situation Topographique :

- Plat :

- Cuvette :

-Dépression :

-Caractères Géologiques et Pédologiques :

-Type du Substrat :

-Type de Sol :

V- Physionomie de la Végétation :

-Nom Provisoire de l'association :

1^{ère} espèce dominante :

-Nom Définitif de l'Association :

2^{ème} espèce dominante :

-Recouvrement (%) :

3^{ème} espèce dominante :

V-Degré d'artificialisation

Paturage :

-Intense :

, -Faible :

, -Nul :

-Strate(a) : Strate Arborescente(10-20) . **-Strate(b)**: Strate arbustive (1-7 m)-Bouissante. **-Strate(c)** : Strate herbacée (< 1m)

N°	Nom scientifique	Dominance-Abondance	Sociabilité	N°	Nom scientifique	Dominance-Abondance	Sociabilité
1				14			
2				15			
3				16			
4				17			
5				18			
6				19			
7				20			
8				21			
9				22			
10				23			
11				24			
12				25			
13				26			

Annexe 3. Coordonnées géographiques et types de parcours des différentes stations étudiées.

Zones	Stations	Type de parcours	Coordonnées	
			Latitude	Longitude
1	1	Décombres	34,734820	5,407475
1	2	Décombres	34,735125	5,408669
1	3	friche	34,735417	5,409667
1	4	friche	34,736040	5,409608
1	5	friche	34,735741	5,408813
1	6	friche	34,736853	5,408767
1	7	Voisinage des routes	34,739737	5,412700
1	8	Voisinage des routes	34,376700	5,410672
1	9	Voisinage des routes	34,736631	5,410123
1	10	Culture de tomate	34,744578	5,411898
1	11	Culture de tomate	34,744569	5,412107
1	12	Culture de tomate	34,744451	5,411879
1	13	Palmeraie	34,730846	5,409822
1	14	Jachère	34,737349	5,409899
1	15	Jachère	34,737404	5,410180
1	16	Jachère	34,734619	5,405273
1	17	Jachère	34,734005	5,405444
1	18	Palmeraie	34,734454	5,406074
1	19	Palmeraie	34,734489	5,406453
1	20	Palmeraie	34,737137	5,409612
2	1	Décombres	34,758798	5,906732
2	2	Décombres	34,761438	5,904714
2	3	Jachère	34,763309	5,901166
2	4	Jachère	34,762887	5,901044
2	5	Jachère	34,762504	5,902829
2	6	Jachère	34,761933	5,903389
2	7	Voisinage des routes	34,762622	5,902842
2	8	Palmeraie	34,763069	5,893718
2	9	Palmeraie	34,763306	5,893445
2	10	Palmeraie	34,762804	5,893113
2	11	Palmeraie	34,762528	4,8923230
2	12	Voisinage des routes	34,76449	5,887593
2	13	Voisinage des routes	34,764884	5,886057
2	14	Friche	34,768085	5,869192
2	15	Friche	34,768160	5,868491
2	16	Friche	34,765584	5,869385
2	17	Friche	34,764420	5,868973
2	18	Culture de tomate	34,766804	5,874167
2	19	Culture de tomate	34,766902	5,874215
2	20	Culture de tomate	34,760259	5,874315

Annexe 4. Photos de quelques espèces inventoriées.



***Cistanche tinctoria* (forssk.) beck**



***Daucus carota* L.**



***Echinops spinosus* Bove ex DC.**



***Emex spinosa* (L.) Campd**



***Ferula vesceritensis* Coss. & Dur. ex Batt**



***Helianthemum lippii* (L.) Dum. Cours.**



***Limoniastrum guyonianum* Dur.**



***Tamarix articulate* Vahl.**



Atractylis carduus (Forssk.) C. Chr.



Beta vulgaris L.



Medicago Arabica (L.) All.



Peganum harmala L.



Aristida acutiflora Trin. et Rupr.



Aster squamantus Hier.



Astragalus armatus Willd.



Atractylis serretuloides Sieber ex Cass



Chenopodium murale L.



Launaea mucronata (Forssk.) Muschl



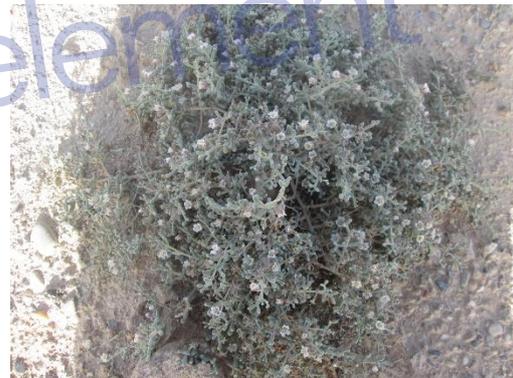
Limonium delicantilum (de Girard)
Kuntze



Pituranthos chloranthus Coss. & Dur.
Schinz.



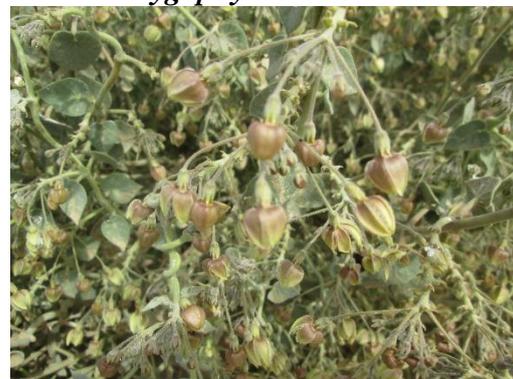
Sinapis arvensis L.



Zygophyllum album L.



Hordeum murinum L.



Pergularia tomentosa L.



Asphodelus tenuifolius Cav.



Astragalus gyzensis Bunge.



Erodium triangulare (Forssk.) Muschler.



Plantago lanceolata L.



Silybium marianum L.



Sonchus olearaceus L.



Convolvulus arvensis L.



Melilotus indica L.

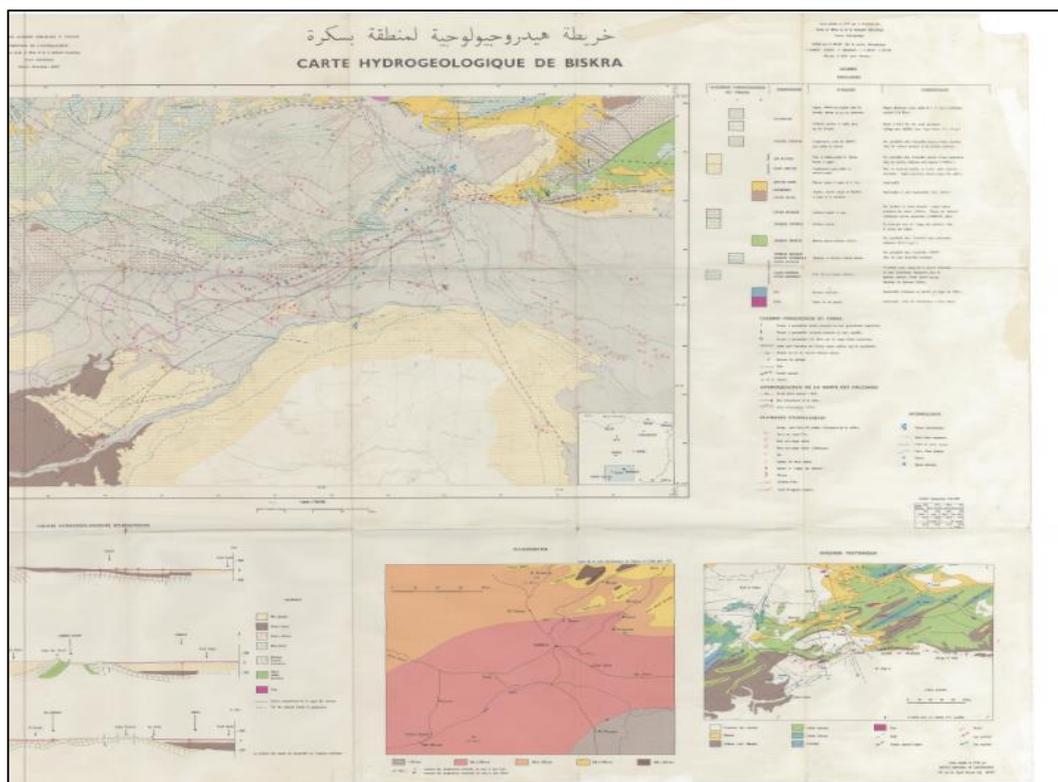


Figure 3. Carte Hydrogéologique et pluviométrique de Biskra, 1/200000. INCA (Institut National de Cartographie Alger), 1980.

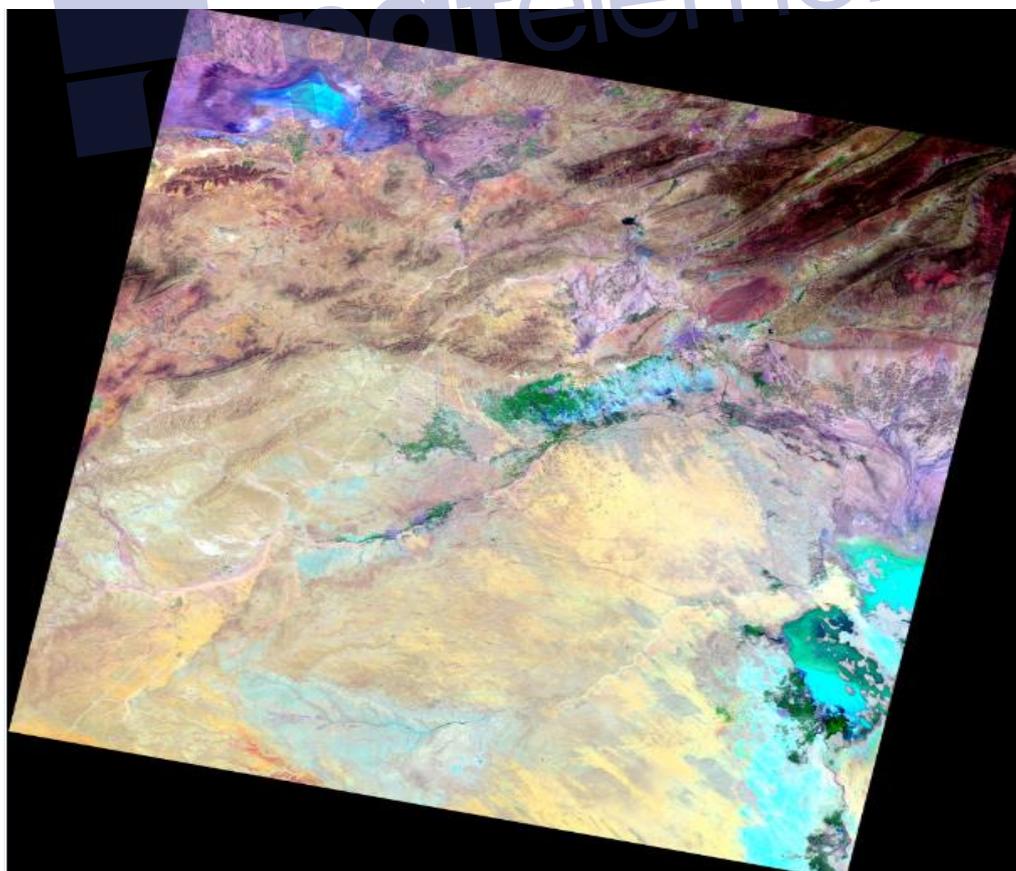


Figure 4. Landsat 8 OLI acquis en juin 2013.

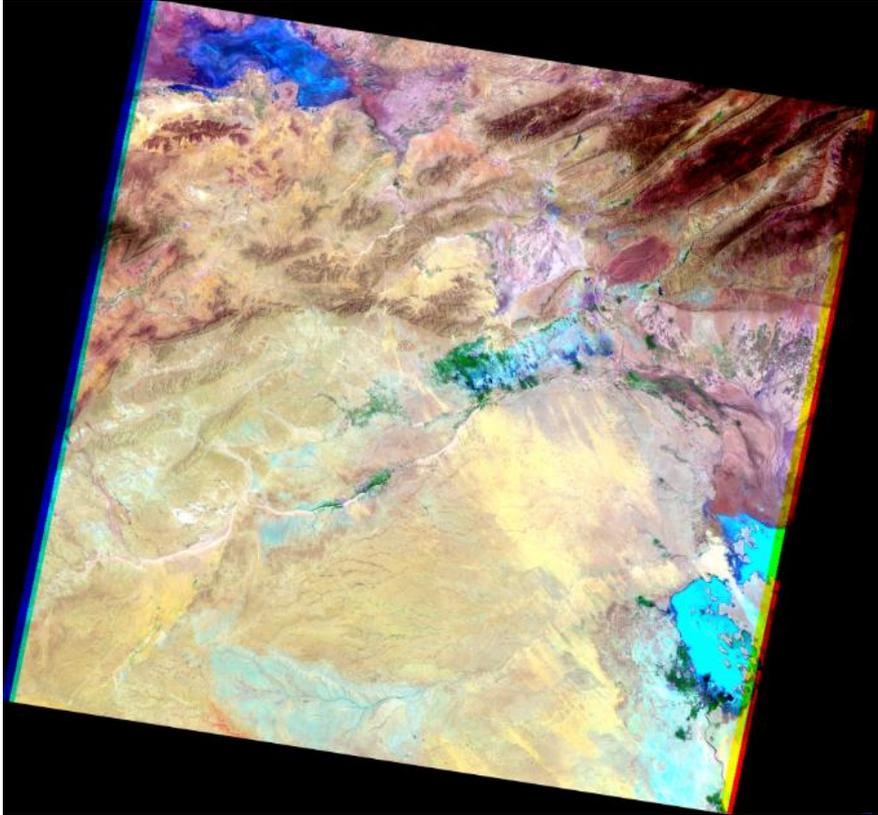


Figure 5. Landsat 7 ETM + pris en juillet 1999.

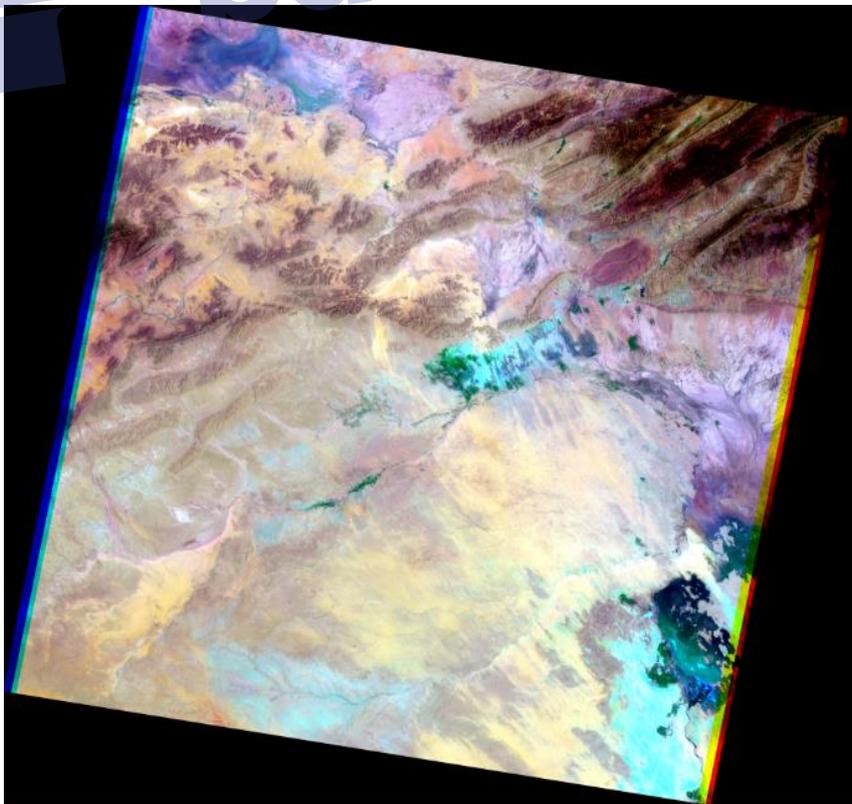


Figure 6. Landsat 5 TM acquis en juin 1984.

ملخص

شهدت الزراعة الصحراوية في جنوب شرق الجزائر توسع زراعي في النظم الإيكولوجية الزراعية، من خلال تبني التقنيات الجديدة وفي وضع برامج تطوير قطاع الزراعة، وتشمل هذه الدراسة تقييم بيئي وكمي للتصحّر في نظام بيئي صحراوي (جنوب شرق الجزائر) باستخدام نموذج (Mediterranean) MEDALUS (Desertification and Land Use)، من ثم لاختبار تأثير مزارع النخيل على ظاهرة التصحر، ثم استكشاف المواقع المناسبة لزراعة النخيل في منطقة الزيبان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وأخيرا استكشاف التنوع البيولوجي النباتي في الواحة واستجابتها للعوامل البيئية (الأنواع البيولوجية، الأنواع المرفولوجية، الأنواع البيوجغرافية، أنماط الانتثار، استراتيجيات Grime و استراتيجيات Noy-Meir)، كشفت النتائج (أ) أولا ثلاثة أرباع منطقة الدراسة الواقعة في الجزء الأوسط (السهول والمنخفضات) تعتبر منطقة حساسة جدا تجاه التصحر، (ب) ثانيا قدرة مزارع النخيل في السيطرة والتخفيف من حدة التصحر في الأراضي الجافة الساخنة، و الناتجة من فعالية برامج استراتيجية للسياسة الزراعية، (ت) ثالثا منطقة الزيبان لديها إمكانات مهمة في مجال زراعة النخيل، (ث) رابعا، التنوع البيولوجي للأنواع النباتية مهم جدا على مستوى النظام البيئي الواحاتي، وتكيفها بشكل جيد للظروف البيئية، بشكل أساسي التصحر. قدرة تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية للرصد والكشف السريع عن تغير الأراضي على مستوى المناطق الصحراوية بما في ذلك الواحات، على المدى الطويل، وعلى مساحة جغرافية واسعة مع دقة عالية وتكلفة منخفضة نسبيا. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الأنواع الواحاتية تتكيف بشكل جيد مع العوامل البيئية الصحراوية، والعوامل البشرية.

كلمات مفتاحية: MEDALUS، التصحر، الزيبان، الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية مزارع النخيل، التنوع البيولوجي النباتي.

Abstract

Large Saharan agriculture in southeastern of Algeria have been witnessed into highly agro-ecosystems farming expansion, by adopting new technologies and Agriculture programs to develop the sector. This study involves an environmental and quantitative assessment of desertification in a desert oasis system (Southeast of Algeria) using MEDALUS model (Mediterranean Desertification and Land Use), and then to test the date palm plantations effect on desertification phenomenon, after to develop a suitability map for date palm farming for the Ziban region using GIS and Remote sensing tools, and finally exploring oasis floristic biodiversity and their response to environmental factors (Standard biological, standard morphological, standard biogeography, types of dissemination, strategies of Grime, and strategies of Noy-Meir). The results revealed, (i) first three quarters of the study area located in the central part (Plains and Depressions) is classified as a very sensitive area against Desertification, (ii) secondly the potential of DPP in controlling and mitigating desertification in hot drylands, which arising from the effectiveness of strategic agricultural policy programs. (iii) Thirdly, the Ziban region has important potential in the date palm farming, (iv) Fourthly, Biodiversity of plant species is important at the oasis ecosystem and well adapted to the environmental conditions, mainly desertification. The ability of remote sensing image processing and GIS technique is proven relevant for monitoring and rapid detection of long-term land change in large-area desert landscapes including oases with high accuracy and relatively low cost. In addition, oasis species are well adapted to Saharan environmental factors, and anthropogenic factors.

Key Words : MEDALUS, Desertification, Ziban, GIS and Remote sensing, date palm farming, floristic biodiversity.

Résumé

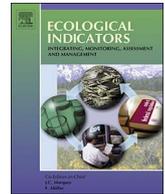
Le secteur agricole a été témoin un grand expansion des agroécosystèmes Sahariens dans le sud-est de l'Algérie, en adoptant de nouvelles technologies et de programmes agricoles pour développer le secteur. La présente étude consiste à une évaluation environnementale et quantitative à la désertification d'un system oasien de désert (Algérie Sud) en adoptant le modèle MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), puis de tester l'effet des plantations de palmier dattier (PPD) sur le phénomène de la désertification, ensuite la prospection des sites favorables de la Phoeniculture dans la région du Ziban à partir de l'outil SIG et Télédétection, et enfin explorer la Biodiversité floristique oasien et leur réponse vis-à-vis aux facteurs environnementaux (type morphologiques, Biologiques, Biogéographiques, Dissémination, Stratégies adaptatives de Grime, Stratégie de Noy-Meir). Les résultats ont révélé, (i) premièrement le trois quart de la zone d'étude qui située dans la partie centrale (Plaines et dépressions) est classifiée comme zone très sensible à la Désertification, (ii) deuxièmement, le potentiel du Plantation de palmier dattier pour contrôler et d'atténuer la désertification dans les zones arides chaudes issue de l'efficacité des programmes stratégiques de politique agricole, (iii) troisièmement, La région du Ziban dispose d'énormes potentialités en matière de Phoeniculture, (iv) quatrièmement, la Biodiversité des espèces végétales est importante au niveau de l'écosystème oasien et bien adaptés aux conditions environnementales, principalement la désertification. Le Présent document rapporte, le potentiel et l'opportunité de Système d'Information géographique (SIG), et Télédétection comme des outils efficace pour cartographier, évaluer les changements ou les dégradations environnementales à long terme et avec un coût relativement faible dans les régions sahariennes. De plus, les espèces oasiennes sont bien adaptées aux facteurs environnementaux sahariens, et facteurs anthropiques.

Mots clés : MEDALUS, Désertification, Ziban, SIG et Télédétection, , plantations de palmier dattier, Biodiversité floristique.



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind

Original articles

Can palm date plantations and oasisification be used as a proxy to fight sustainably against desertification and sand encroachment in hot drylands?

Ali Mihi^{a,b}, Nacer Tarai^c, Haroun Chenchouni^{a,*}

^a Department of Natural and Life Sciences, Faculty of Exact Sciences and Natural and Life Sciences, University of Tebessa, 12002 Tebessa, Algeria

^b Department of Biology and Vegetal Ecology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Ferhat, Abbas Setif 1, 19000 Setif, Algeria

^c Department of Agricultural Sciences, Faculty of Exact Sciences and Natural and Life Sciences, University of Mohamed Khidder, 07000 Biskra, Algeria

ARTICLE INFO

Keywords:

Sahara desert
Oasis
Desertification
Land cover
Spatiotemporal land survey
Date palm plantation
Remote sensing
GIS

ABSTRACT

Using GIS and remote sensing tools, the current dissertation shows the impact of agricultural mutation in drylands and highlights the effect of date palm (*Phoenix dactylifera*) plantations (DPP) on desertification phenomenon in oases of the Algerian Sahara Desert. The spatiotemporal survey was conducted using three Landsat satellite images (TM-1984, ETM+ -1999, and OLI-2013). Likelihood supervised classification was used to quantify DPP change over three decades, whereas four remote sensed indices were extracted as indicators of desertification process in the study area: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Moisture Index (NDMI), Salinity Index (SI-T), and Crust Index (CI). Generalized linear mixed models (GLMMs) were applied to test the effects of year and DPP 'presence/absence' for NDVI; year, DPP and NDVI for both CI and NDMI; year, DPP, NDVI and NDMI for SI-T. DPP area and tree numbers quadrupled over the last three decades with a surface increase of 4822 ha and more than 0.5 million trees. DPP presence positively influenced NDVI, NDMI and CI, but negatively affected SI-T. Highly significant positive relationships were found between NDVI—DPP, NDVI—NDMI, and NDVI—CI, although negative relationships were obtained between SI-T—NDVI and SI-T—NDMI. DPP areas indicated higher NDVI, NDMI and CI values, but with lower SI-T values compared to the rest of the desert habitats. Our results highlighted the potential role of DPP in controlling and mitigating desertification in hot drylands. This arises from the effectiveness of strategic agricultural policy programs. Landsat series data provided a cost-efficient tool for monitoring change in oases and arid environments.

1. Introduction

According to the United Nations Convention to Combat Desertification UNCCD, desertification means land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas resulting from various factors, including climatic variations and human activities (Benabderrahmane and Chenchouni 2010; Ci et al., 2010). In 1998, more than 900 million people in 100 countries were affected by this phenomenon, which is expected to double by 2025 (Dooley 2002). Drylands are the most sensitive areas to desertification worldwide (Reynolds et al., 2007). Due to its geographical position, drylands of the Mediterranean region are mostly affected by desertification and land degradation compared to the rest of the world (Safriel, 2009). Nowadays, the assessment, monitoring and combating of desertification and land degradations represent a real challenge under the current and projected global climate

change for both scholars and decision-makers (Chasek et al., 2015; Gnacadja 2015; Liu et al., 2015; Stavi and Lal 2015; Van den Elsen and Jetten 2015).

Intimately dependent on water resources and climatic conditions, oasis is simultaneously a fertile and fragile ecosystem of hot desert zones, in which agriculture is the main human activity (Shanzhong and Xiaoyu 2010; De Grenade et al., 2016). Oasis is structured in a multi-layered vegetation composed of wild and crop plants and dominated by a canopy underneath high biodiversity of animal and plant species occurs within the lower vegetation stratum (Gebauer et al., 2007; Guezoul et al., 2013). The dynamics of oasis in arid lands have two opposite trends: (i) oasisification that refers to oasis expansion by the plantation of new lands and the use of sustainable and modern farming practices, and (ii) desertification inducing oasis range contraction and agricultural land degradation due to the combined effects of land

Abbreviations: CI, crust index; DPP, date palm plantations; GIS, geographic information system; GLMM, generalized linear mixed model; LU/LC, land use/land cover; NDMI, normalized difference moisture index; NDVI, normalized difference vegetation index; SI-T, salinity index-Tripathi; TM-1984, thematic Mapper-1984; ETM+ -1999, enhanced thematic mapper plus-1999; OLI-2013, operational land imager-2013

* Corresponding author.

E-mail addresses: mihialeco@gmail.com (A. Mihi), tarainacer@yahoo.fr (N. Tarai), chenchouni@gmail.com (H. Chenchouni).

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.027>

Received 27 April 2017; Received in revised form 11 November 2017; Accepted 15 November 2017

1470-160X/© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

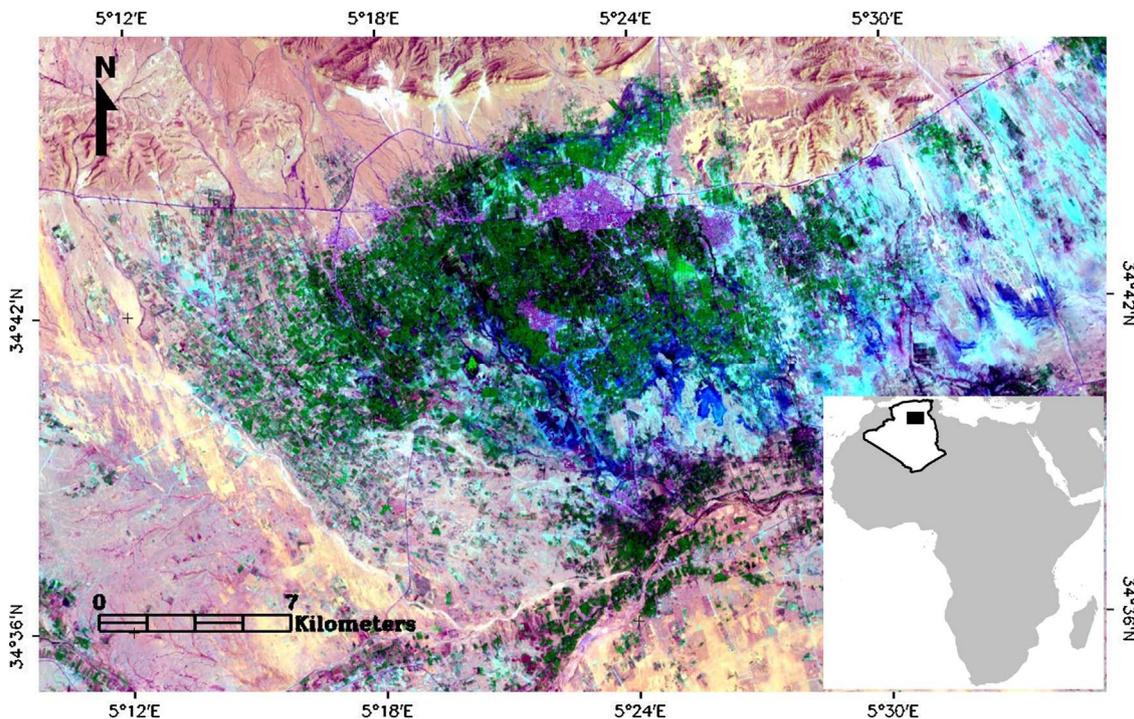


Fig. 1. Study area, Landsat scenes 8 OLI for the year 2013 (RGB composite, Bands 7-5-2).

abandonment, severe climate conditions, and urban expansion (Safrieli 2009; Xie et al., 2015). During the last decades, agricultural lands remarkably expanded in North African oases including the Ziban region in Algerian Sahara (Afrasinei et al., 2017a), a result of the sustainable water irrigation management adopted in oasis agroecosystems (Carr 2013; Bouguedoura et al., 2015; Hamamouche et al., 2017).

During a long period of stagnation and sometimes abandonment of the date palm oases in the Algerian Sahara, large area of date palm groves suffered from urbanization, advanced tree age, and the escape of manpower from the agriculture sector. However, since the 80s, the date palm farming has experienced a significant recovery in the Ziban region especially during the last three decades due to: (i) the new sustainable agriculture policy adopted by the Algerian government, (ii) many environmental assets including favourable climatic conditions, extensive lands, sufficient water resources, and a large population with high manpower (Dubost and Larbi-Youcef, 1998; Bouzaher and Alkama 2013). In fact, since ancient times, the date palm has been recognized as 'the tree of life' because (i) environmentally, DPP trees create suitable microclimates under hot desert conditions and host diverse animals/plants as they find there shade, food, and living habitat, (ii) socially, DPP play important role in providing rural communities with food resources and livelihood opportunities for employment in drylands, and (iii) economically, date palm is an economic crop, income-generating, foreign exchange earnings, and offers added-value products for the national economy (Jain et al., 2011; Al-Khayri et al., 2015a). Within this context, our study aims to test if the planting of date palm trees can provide vital defence against desertification starting from geomatics-based approach using long-time series of Landsat images as cost-efficient tool (Arar and Chenchouni 2012; Afrasinei et al., 2017a).

Landscape management of oasis and date palm groves are indissociably related in hot desert regions where the date palm production is the economic centre of oasis agriculture (Benchelah and Maka 2008). The date palm (*Phoenix dactylifera* Linnaeus 1753) is known as a species with high tolerance to hot conditions and can be grown under moderate soil salinity (Tengberg 2014). Due to vertical growth of date palm trees, the latter play a key-role in maintaining a suitable microclimate for Saharan agriculture and shelter for several plant and animal species (De Grenade 2013; Guezoul et al., 2013). Date palm is one of the most

permanent crops cultivated within desert regions worldwide (Al-Khayri et al., 2015a,b).

Many studies revealed the sustainability and efficiency of biological methods to control and combat desertification using trees and shrub species (Pasternak and Schlissel 2001; Hooke and Sandercock 2012; Neffar et al., 2013). The role of date palm plantations (DPP) in stopping sand invasion and mitigating the advancement of desertification in hot deserts was reported in several studies. DPP improve soil quality (structural stability, increase in moisture and organic matter) and serve as a sand barrier for fixing sand dunes (Al-Khayri et al., 2015a,b). Nevertheless, up-to-date no study clearly proved the impact of DPP on desertification trends at large or small scales. Within this context, the assumptions tested in the current study are that DPP in hot sandy deserts positively influence desertification control or at least stop its advancement by reducing sand encroachment at regional scale. Indicators of desertification regression such as the increase in vegetation cover/density assessed with the normalized difference vegetation index (NDVI) and soil moisture (Ibrahim et al., 2015), are expected to significantly increase in habitats with DPP compared to unplanted or barren arid environments. Furthermore, this survey aims (i) to demonstrate the potential role of DPP in combating desertification in the Sahara Desert of Algeria and how this can be used as an indicator to promote a sustainable agro-ecological system in oases, (ii) to affirm the potential of remote sensing image processing techniques for monitoring and rapid detection of land change in oasis and desert landscapes.

2. Materials and methods

2.1. Study area

Geographically, the Ziban region is located at southeastern Aures mountains in Algeria, it stretches within latitudes 34°35'N to 34°50'N and 5°10'E to 5°35'E (Fig. 1). The study area covers an area of 890 km². The main human activity in this region is agriculture, where the permanent crop is the DPP. Date palm is a long-living tree (over 100 years), however aged trees represent a constraint for date fruit production. Thus, the old DPP (traditional oases) are gradually replaced with young and modern oases established over larger cultivated areas for ensuring

high yield and a sustainable agricultural development (Bouguedoura et al., 2015). Dates are the main commercial product of DPP in the region. They are sold fresh, dried or made into a paste. The date fruit could become a very important food security crop during years of crop failure (Al-Khayri et al., 2015a). Ecologically, DPP represent a unique habitat within the harsh and hot-arid conditions of the Sahara, since they shelter high plant and animal diversity and offer abundant food resources with constant availability for both resident and migratory species (Chenchouni, 2012a, 2012b; Guezoul et al., 2013). Besides to the suitable microclimate created by DPP canopy (Dedkov and Gunin, 2014), DPP and the associated understory crops increase soil fertility of arid lands with organic matter that supports other crops and wild plant species and thus facilitates their establishment (De Grenade, 2013). Besides, wood, leaves, and wastes of date palm provide fiber, biofuel, clothing, furniture, hats, baskets and other local products (Jain et al., 2011; Al-Khayri et al., 2015a).

The water used for irrigation in the study area is pumped from groundwater (Continental Intercalaire aquifer). Soils belong to three classes: little-evolved soils, alluvial and calcimagnesian soils (dark limy and gypsum). Long-term meteorological data (1984–2013), were obtained from the meteorological station of Biskra located within study area (latitude: 34.85N, longitude: 5.73E, altitude: 87 m, WMO station: 60525) through TuTiempo.net climate database (<https://en.tutiempo.net/climate/ws-605250.html>). The study area has a desertic climate, with very hot and dry summers (average annual temperature = 22.67 °C) and mild winters (mean annual rainfall = 130.72 mm). The dry period extends over the whole year. The coldest and the hottest months are January (minimum temperature = 6.6 ± 5.4 °C) and July (maximum temperature = 41.7 ± 5.0 °C), respectively. The annual average of relative air humidity is 40.39% (Fig. S1, Table S1). The aridity of the region is very severe with a value of De Martonne's index equals 4 and Budyko's aridity index equals 10.562. The climatic net primary production is precipitation limited since precipitation deficit is estimated to 1062 mm/year (aridity index "P/PET" = 0.11) (Table S2). The vegetation is steppe type, mostly characterized by halophytic communities including the following species *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin, *Nitrosalsola vermiculata* (L.) Theodorova, *Suaeda* spp., *Tamarix* spp. and some psammophytic communities dominated by *Lygeum spartum* Loeff. ex L.

2.2. Data acquisition

Three satellite images were used in this study: (i) Landsat 5 TM acquired in June 1984, (ii) Landsat 7 ETM+ took in July 1999, and (iii) Landsat 8 OLI acquired in June 2013. All three images were acquired in summer months because cloud cover (CC) is less important during this period, which is also more suitable for monitoring and analysis of the vegetation activity (Vicente-Serrano et al., 2008). The images were collected from the USGS Landsat archive (LIT) available at <http://glovis.usgs.gov>. They have a spatial resolution of 30 m with less than 1% of CC over the study area for Landsat 8 and 0% CC for Landsat 5 and 7 (Landsat-NASA, 2011; Zanter 2016).

2.3. Image processing of landsat time-series data

2.3.1. Geometric correction

Corrections were carried out through the acquisition of the bitter points figuring at the same time on the coloured composition and on the reference image. All images were corrected to the image of reference (scene OLI 30/06/2013) to Universal Transverse Mercator (UTM) Projection zone 31 north with the datum World Geodetic System (WGS) 1984. The method of nearest neighbour was used for the interpolation.

2.3.2. Radiometric calibration

The temporal homogeneity of the dataset is required to make a comparative study. Overall, Top-Of-Atmosphere (TOA) reflectance was widely accepted for the study of land use/land cover (LU/LC) change.

Therefore, complex radiometric corrections were not necessary (Vicente-Serrano et al., 2008). The radiometric calibration of the data allows converting the signal recorded by the satellite in a physical variable such as the at-sensor spectral radiance and TOA reflectance, expressed in fundamental scientific units.

2.4. Landsat-5 TM and Landsat 7-ETM+

The procedures of radiometric corrections for Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+, briefly presented hereafter, are recommended by Chander et al. (2009): (i) calculation of at-sensor spectral radiance values from digital numbers values (DN_s) by eliminating the gain and the offset caused by the sensors using the following equation (Formula (1)):

$$L_{\lambda} = (LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}/Q_{calmax} - Q_{calmin})(Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

Where: L_{λ} = spectral radiance at the sensor's aperture [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], $LMAX_{\lambda}$ = spectral radiance scaled to Q_{calmax} [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], $LMIN_{\lambda}$ = spectral radiance scaled to Q_{calmin} [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], Q_{calmax} = maximum quantized calibrated pixel value [DN = 255] corresponding to $LMAX_{\lambda}$, Q_{calmin} = minimum quantized calibrated pixel value [DN = 0] corresponding to $LMIN_{\lambda}$, Q_{cal} = quantized calibrated pixel value [DN].

All related constants were obtained through the study of Chander et al. (2009). (ii) then, the conversion of at-sensor spectral radiance to TOA allowed reducing scene-to-scene variability. The following equation (Formula (2)) allowed to compute the TOA reflectance of the earth:

$$\rho_{\lambda} = \pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2 / ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s \quad (2)$$

Where: ρ_{λ} = Planetary TOA reflectance [unitless], π = mathematical constant equal to ~3.14159 [unitless], L_{λ} = Spectral radiance at the sensor's aperture [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], d = Earth-Sun distance [astronomical units], $ESUN_{\lambda}$ = Mean exoatmospheric solar irradiance [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], θ_s = Solar zenith angle [degrees].

$ESUN_{\lambda}$ values for TM images were acquired from Chander and Markham (2003), and the Landsat-7 Science Data User Handbook was used for the ETM+ images (Landsat-NASA, 2011).

2.5. Landsat-8 OLI

The reflectance rescaling coefficients provided in the product metadata file of OLI band data were used to convert DN values to TOA reflectance for OLI bands. The following equation (Formula (3)) was adopted following Zanter (2016). First, TOA reflectance without sun angle correction:

$$\rho_{\lambda}' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (3)$$

Where: ρ_{λ}' = TOA planetary reflectance, without correction for solar angle. Note that P_{λ}' does not contain a correction for the sun angle, M_p = band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata, A_p = band-specific additive rescaling factor from the metadata, Q_{cal} = quantized and calibrated standard product pixel values [DN]. Then, TOA reflectance corrected for the sun angle (Formula (4)):

$$\rho_{\lambda} = \rho_{\lambda}' / \cos(\theta_{SZ}) \quad (4)$$

Where: ρ_{λ} = TOA planetary reflectance, θ_{SE} = local sun elevation angle. The scene centre sun elevation angle in degrees is provided in the metadata, θ_{SZ} = local solar zenith angle where; $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$.

2.6. Image analysis

For mapping spatiotemporal dynamics of DPP in the study area, the maximum of likelihood classifier was adopted, which were the most accuracy and satisfactory assessment technique in classifying remotely sensed data (Konecny, 2014). Sample areas representing categories of

soil land use/land cover of the region were collected randomly using GPS for more classification accuracy estimation. One range of cover class was distinguished in our case (i.e. DPP). The overall accuracy and kappa coefficient were computed to assess the classification accuracy. The correlation matrix of the spectral bands of each satellite images allowed to arise the best bands for a good discrimination of surface, which are the short wavelength infrared (TM 7, ETM + 7 and OLI 7), the near infrared (TM 4, ETM + 4 and OLI 5), and the blue (TM 1, ETM + 1 and OLI 2) bands. Four environmental indicators were used (green vegetation, soil moisture, soil salt, and soil sand) to assess and monitor desertification processes. Hadeel et al. (2010) chose NDVI and CI indices as main data to assess desertification sensitivity in desert ecosystems. SI-T index reported as good indicator for assessing soil salinity in lands dominated by date palm vegetation (Allbed et al., 2014a). Canopy water content was measured using NDMI index since this index accurately estimates the moisture content of DPP. Values of NDMI are higher when DPP canopy is thicker and denser (Assal et al., 2016; Afrasinei et al., 2017b). Hence, four spectral indices, namely NDVI, NDMI, SI-T and CI, were derived from the spectral reflectance of the remotely sensed wavebands (Table 1). The software ENVI 4.5 was used for all image processing and analysis.

2.7. Statistical analysis

Generalized linear mixed models (GLMMs) were used to test the effect of DPP on the variation of desertification indicators (NDVI, NDMI, CI, and SI-T) over the past 30 years. Factors entered in the models were (i) the year and DPP 'presence/absence' for NDVI; (ii) year, DPP and NDVI for CI; (iii) year, DPP and NDVI for NDMI; (iv) year, DPP, NDVI and NDMI for SI-T. For each GLMM, interactions of variables with DPP were included. Because the satellite images concerned the same area where values of desertification indicators/indices were acquired per pixel (30 m) for each year. Thus they were considered pseudoreplications and the factor 'pixel' is in this case entered as a random effect in the model. The R packages nlme (Pinheiro et al., 2015) was used for the statistical analysis and calculations, whereas the package ggplot2 was used for plotting graphs.

3. Results

3.1. Date palm plantation change over the past three decades

The overall accuracy and Kappa coefficient exceeded 90% of accuracy (Table 2), which indicates very good classifications for the three images. Fig. 2a–c shows DPP changes over past thirty years. Statistics of changes in area, and palm tree numbers for the three years of maps are summarized in Table 2. From 1984–1999, there was an evident increase in DPP area with 20.13 km² (2.26%), from 54.06 km² to reach 74.19 km². The number of palm trees increased with 241,574 trees, from 648,745 trees in 1984–890,319 trees in 1999. Similarly, for the second period (1999–2013), a noticeable increase was registered in both DPP area (28.09 km², 3.15%) and numbers of date palms (343,332 trees). Overall and over the last 30 years, the DPP total area increased with 48.22% where 584,906 trees were newly planted.

Table 1
Spectral indices derived from the Landsat data reflectance.

Index	Formulation	Reference
Normalized difference vegetation index (NDVI)	$(NIR - R)/(NIR + R)$	Rouse et al., 1974
Normalized difference moisture index (NDMI)	$(NIR - MIR)/(NIR + MIR)$	Wilson and Sader 2002
Salinity index (SI-T)	$(R/NIR) \times 100$	Tripathi et al., 1997
Crust index (CI)	$1 - ((R - B)/(R + B))$	Karnieli 1997

B: blue band, R: red band, NIR: near infrared band, MIR: mid-infrared band.

Table 2

Summary of date palm change for 1984, 1999 and 2013 in the region of Ziban (Sahara Desert of Algeria).

DPP data	1984	1999	2013	Total change (1984–2013)	Yearly rate of change (1984–2013)
Area (km ²)	54.06	74.19	102.28	+ 48.22	+ 1.66
%	06.07	08.33	11.48	+ 5.41	+ 0.19
Palm trees number ^a	648,745	890,319	1,233,651	+ 584,906	+ 20,169
Overall accuracy (%)	96.43	95	94.68		
Kappa coefficient (%)	95	92	94		

^a According to Bouguedoura et al. (2015) (1 ha = 120 date palm trees).

Along with the annual increases in DPP area and number of planted trees, the agricultural practices also changed and advanced over time. Recent DPP are maintained under a sustainable agronomical management that considers the wise use of resources – mainly irrigation water – while maximizing the productivity. In recent DPP, trees are maintained regularly, planted in regular architecture with large distances between trees to facilitate machinery works, and very often efficient irrigation and drainage systems are used. While in the 1980s, DPP oasis used to be fragmented plots farmed based on ancestral knowledge that yield much less but with some advantages compared to the modern system.

3.2. Date palm plantation-based indicators of desertification trends

3.2.1. Effects of DPP on NDVI

Outs of NDVI index of the study area for each year is presented in Fig. 2d–f. Descriptive statistics plotted as boxplot showed a rapid increase in green biomass through years. NDVI averaged 0.12 ± 0.04 (mean \pm SD) in 1984, then 0.13 ± 0.07 in 1999, to reach 0.18 ± 0.10 in 2013. In every year, NDVI values increased with DPP presence, while NDVI significantly decreased with DPP absence (Fig. 3). Standard deviations of NDVI increased over the years in DPP, which indicate that NDVI values were statistically uneven between DPP plots (pixels of the image) of the same year. The computed coefficients of variation (CV) were 0.23, 0.25 and 0.35 for 1984, 1999, and 2013, respectively. The actual significant increase in NDVI was observed during the last period (1999–2013), which was also marked with higher heterogeneity compared to previous dates. We speculate that these differences in NDVI values between pixels of the same period are due to differences in age of trees (wide range of ages 1–120 years) rather than to differences in management of DPP plantations. The GLMM revealed high significant increases ($P < 0.0001$) in NDVI values between study years. Besides, GLMM indicated that within the same year, the presence of DPP showed significantly higher ($P < 0.0001$) NDVI values compared to area unplanted with date palm (Table 3). Generally, high values of NDVI index denote the cultivated area with DPP. However, low NDVI values refer to uncultivated areas i.e. absence of DPP.

3.2.2. Influences of NDVI and DPP on CI

The three maps of CI index are displayed in Fig. 2m–o. CI values varied significantly between years ($P < 0.0001$) with an average of 0.77 ± 0.04 , 0.79 ± 1.09 , and 0.79 ± 0.08 for the years 1984, 1999 and 2013, respectively. The GLMM indicated that the increase observed between year was statistically significant. A significant positive relationship ($P < 0.0001$) was obtained between NDVI and CI indices; CI values increased as NDVI values increased (Fig. 4, Table 4). Besides that, the presence DPP induced a significant increase in CI index ($P < 0.0001$). In fact, the high values of CI index refer to areas with

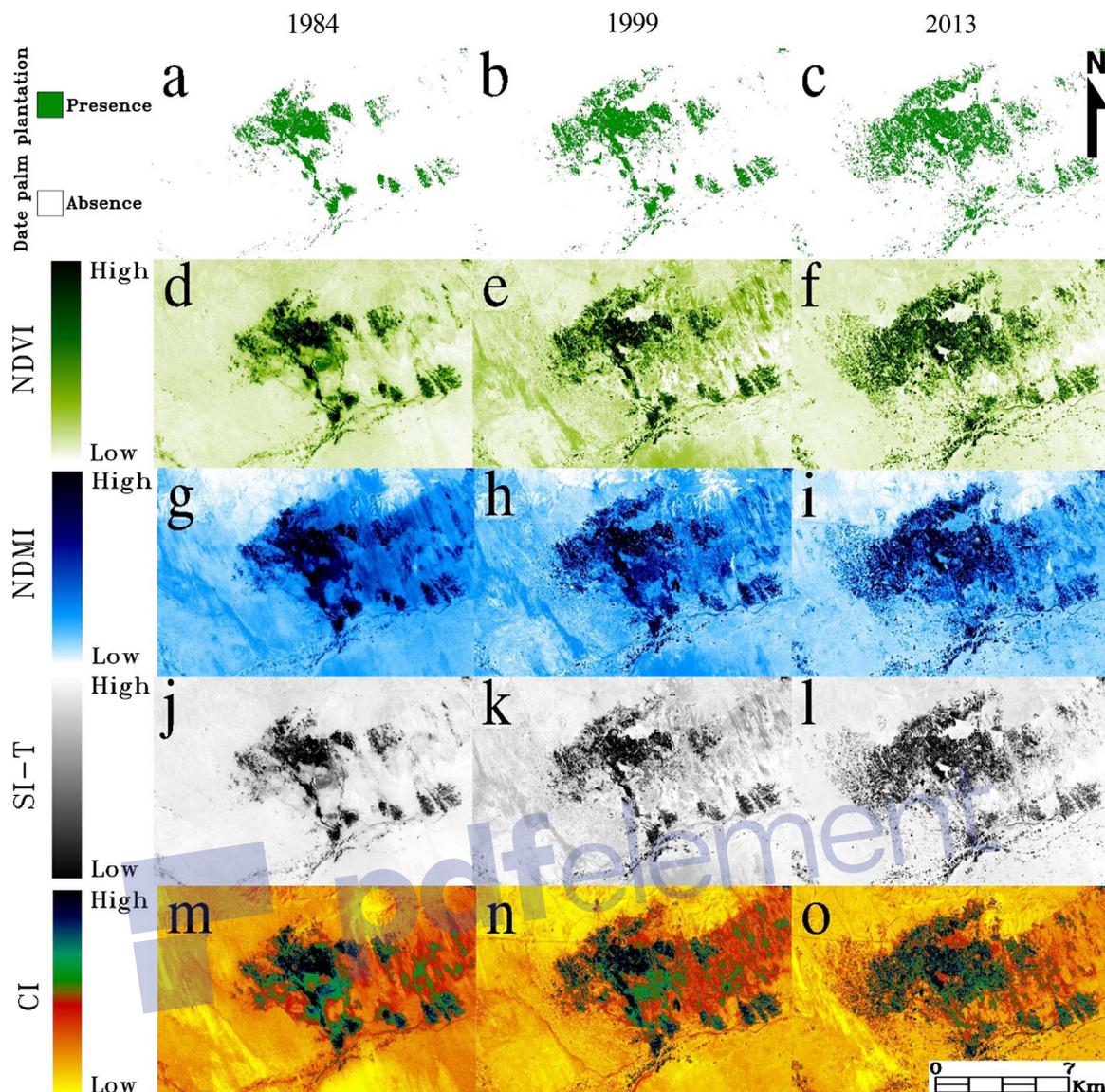


Fig. 2. Spatiotemporal land change in the Region of Ziban (NE Algeria) from 1984 to 2013. Changes are related to date palm plantation (a–c), NDVI (d–f), NDMI (g–i), SI–T (j–l), and CI (m–o) for the years 1984, 1999 and 2013.

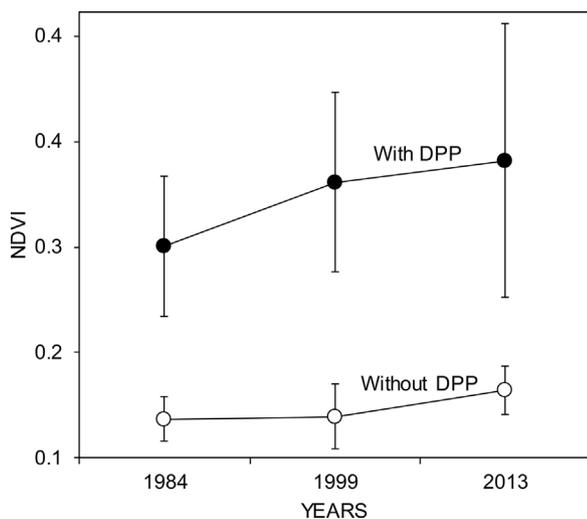


Fig. 3. Variation of NDVI values in the Ziban region (Algerian Sahara Desert) during the period 1984–2013 following DPP presence/absence. The solid circles indicate the means and vertical bars standard errors.

Table 3

GLMM testing the effects of years, DPP presence/absence, and their interaction 'year*DPP' on the variation of NDVI in oases of the region of Ziban (Sahara Desert of Algeria).

Variables	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
Intercept	0.114	4.3E-05	1979339	2669.32	< 0.001
Year 1999	0.003	5.3E-05	1979339	55.60	< 0.001
Year 2013	0.026	5.5E-05	1979339	462.97	< 0.001
Presence of DPP	0.125	1.7E-04	1979339	747.47	< 0.001
Year 1999 × Presence of DPP	0.049	2.0E-04	1979339	238.82	< 0.001
Year 2013 × Presence of DPP	0.059	1.8E-04	1979339	319.51	< 0.001

Std. Error: standard error, DF: degrees of freedom.

DPP, whereas low CI values indicate zones with psammophytic plant communities occurring in sand dunes or simply bare soils with scattered and sparse desertic vegetation.

3.2.3. Influences of NDVI and DPP on NDMI

Fig. 2g–i illustrates outputs of NDMI maps change for 1984, 1999

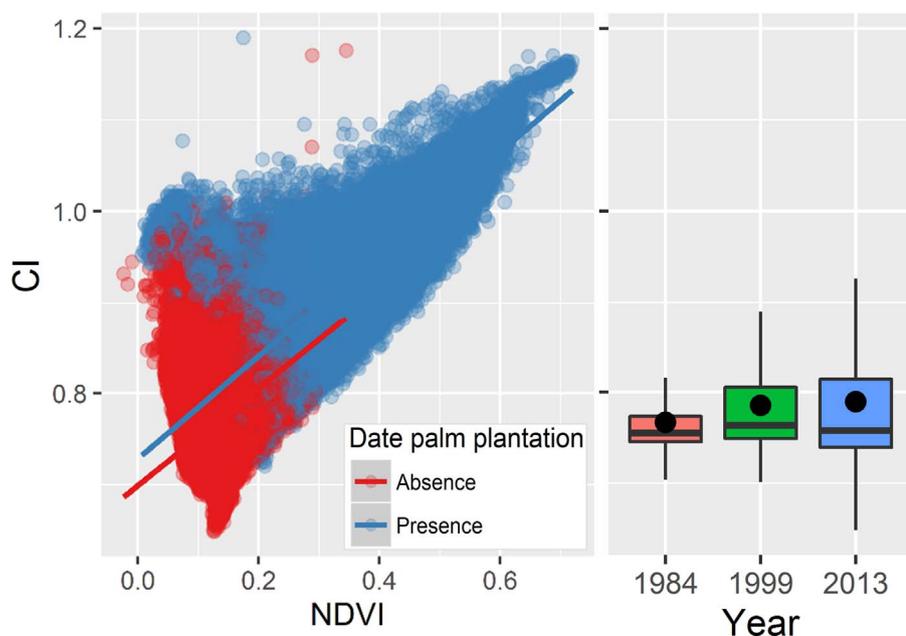


Fig. 4. Relationship between CI and NDVI by date palm plantation presence/absence (left), and variation of CI index in 1984, 1999 and 2013 (right). The lines represent a linear regression with a generalized linear model (GLM) fit. Solid circles within boxplots indicate the means of CI.

Table 4
Results from the GLMM testing the effects of variables 'Years', 'DPP' and 'NDVI' on CI in oases of Sahara Desert of Algeria.

Variables	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
Intercept	0.689	4.2E-05	1979340	16220.21	< 0.001
Year 1999	0.012	2.2E-05	1979340	551.06	< 0.001
Year 2013	-0.016	2.5E-05	1979340	-642.30	< 0.001
Presence of DPP	0.009	6.0E-05	1979340	150.75	< 0.001
NDVI	0.639	2.8E-04	1979340	2253.10	< 0.001

Std. Error: standard error, DF: degrees of freedom.

and 2013 in the region of Ziban. Values of NDMI index displayed slight differences between the three years. In 1984, NDMI averaged -0.03 ± 0.07 , then increased to -0.01 ± 0.08 in 1999 to reach -0.01 ± 0.11 in 2013. The GLMM revealed that these increases were significant between years. In addition, the model indicated that the presence of DPP positively affected NDMI values ($t = 53.40$, $P < 0.001$). A significant positive relationship ($P < 0.0001$) appeared between NDMI and NDVI; NDMI values increased as NDVI values increase and vice versa. Out of GLMM proved that NDMI values significantly increased ($P < 0.0001$) with the increase of NDVI, but this increase is higher in the presence of DPP compared to area where DPP are absent (Fig. 5; Table 5). Overall, high values of NDMI characterized irrigated areas with DPP presence, while low NDMI values characterized non-irrigated areas.

3.2.4. Effects of NDVI, DPP and NDMI on SI-T

SI-T maps of the three years (1984, 1999 and 2013) were equated and shown in Fig. 2j–l. Values of SI-T index significantly decreased across the study years ($P < 0.0001$); from a mean 78.47 ± 6.00 in 1984, then 77.20 ± 8.85 in 1999 to reach 70.50 ± 12.20 in 2013. SI-T values decreased significantly with presence of DPP ($P < 0.0001$). Referring to the results of GLMM, a significant negative relationship occurred between SI-T and NDVI indices ($P < 0.0001$). SI-T values decreased as NDVI values increased (Fig. 6; Table 6), but this decrease was significantly higher when associated to the presence of DPP compared to unplanted areas. In general, areas with high values of SI-T index are occupied and covered by Sabkhas (temporal salt lakes) as stated by Allbed et al. (2014a) or halophytic plant communities (absence of DPP). Contrarily, areas with low values of SI-T are covered by orchards of DPP. The GLMM revealed that the NDMI influenced

negatively ($P < 0.0001$) SI-T values, and this negative influence was also associated to the presence of DPP (Fig. 7, Table 7).

4. Discussion

The techniques of Landsat satellite image processing allowed to monitor dynamics and to assess trends of DPP in desert oasis landscapes. In fact, Landsat satellite images can be used for such purpose provided that the total vegetated area is superior to 0.4 ha (Luedeling and Buerkert 2008). According to Alexandridis et al. (2008), remote sensing is recommended as a low-cost method in agro-environmental studies since Landsat series images can be freely downloaded. In addition, the digital image processing techniques have low requirements in terms of software and specialised personnel. Besides, long time analysis can be conducted using archived satellite images even when traditional field surveys have not been made in the given area (Arar and Chenchouni, 2012).

The role of DPP is proven in combating desertification in the Sahara Desert of Algeria. DPP promote sustainable agronomic and ecological systems in drylands as the establishment of these manmade ecosystems amplify oasisification versus desertification through the increase of NDVI, NDMI and CI values with reducing SI-T values. This specific pattern of studied remote sensed indices reveals that DPP improve soil moisture and increase soil fertility via organic matter inputs and structural stability enhancement, which is translated as a significant increase in vegetation cover density (high NDVI) that includes besides DPP other understorey agricultural activities consisting of perennial and annual crops. DPP represent the most sustainable mean in fighting against sand encroachment considering its long-term dune stabilization compared to chemical and physical methods (Bhansali, 2010). The latter use tree palms for the construction of palisades that act as barriers in the way of the dominant wind in order to stop sand encroachment (Boureboune and Benazzouz 2009; Chenchouni et al., 2010). The oasis effect and the microclimate created by DPP preserves high soil moisture 'NDMI' with low salinity 'SI-T' under the shade of DPP canopy. These mesic conditions facilitated by DPP rendered the oasis a real biodiversity hotspot that shelters a wide range of plant and animal species in sanctuaries located in the thick of hot desert conditions (Guezoul et al., 2013).

The two DPP peaks coinciding with 1999 and 2013 (Table 2) agree on the one hand with the first ongoing cycle of date palm cultivation in

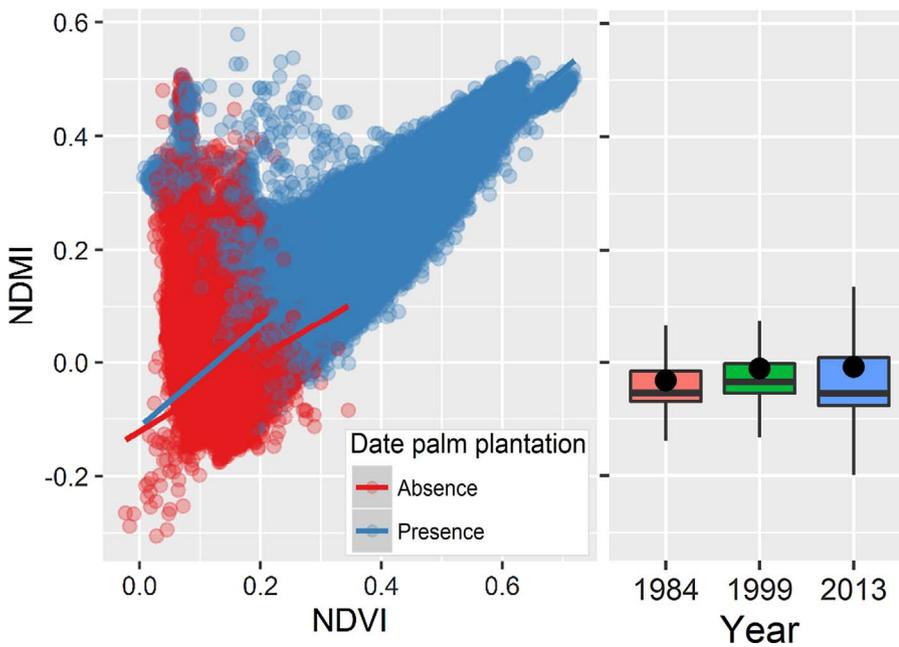


Fig. 5. Relationship between NDMI and NDVI indices by date palm plantation presence/absence (left), and NDMI index change between 1984, 1999 and 2013 (right). The lines represent a linear regression with a GLM fit. Solid circles within boxplots indicate the means of NDMI.

Table 5
GLMM testing the variation of NDMI in oases of Algerian Sahara following the effects of Years, DPP presence/absence, NDVI, and the interaction 'DPP*NDVI'.

Variables	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
Intercept	-0.142	9.6E-05	1979339	-1478.11	< 0.001
Year 1999	0.011	3.0E-05	1979339	370.10	< 0.001
Year 2013	-0.034	3.7E-05	1979339	-912.16	< 0.001
Presence of DPP	0.009	1.7E-04	1979339	53.40	< 0.001
NDVI	0.890	7.7E-04	1979339	1155.54	< 0.001
Presence of DPP × NDVI	0.082	8.3E-04	1979339	98.13	< 0.001

Std. Error: standard error, DF: degrees of freedom.

1984, established within the framework of the Accession to the Agricultural Land Ownership (APFA), which aims to promote the Saharan agriculture, and on the other hand with another program “The National Plan of Agricultural and Rural Development (PNDA)” in 2000, which experienced a second large DPP boom in the Algerian Sahara.

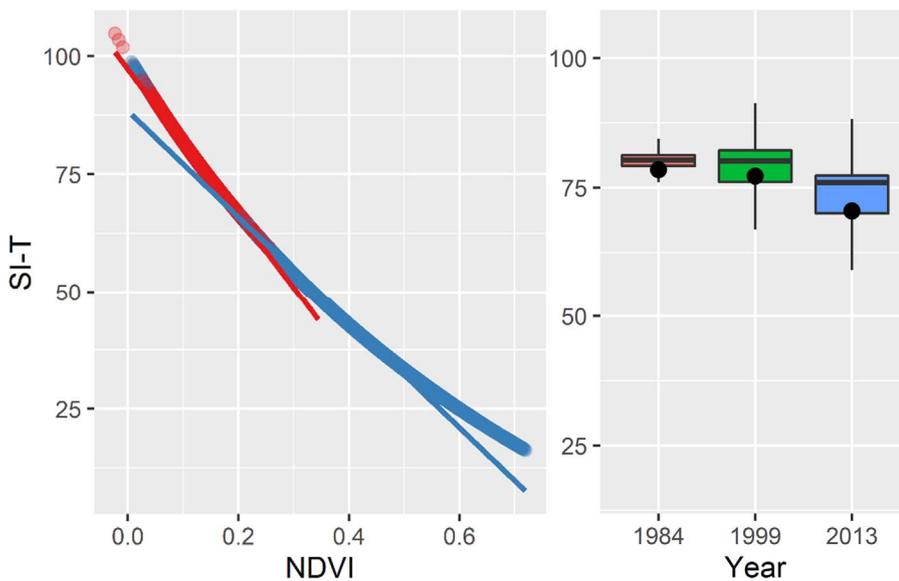


Fig. 6. Relationship between SI-T and NDVI indices by date palm plantation presence/absence (left), and SI-T index change between 1984, 1999 and 2013 (right). The lines represent a linear regression with a GLM fit. Solid circles within boxplots indicate the means of SI-T.

Table 6
Modelling the effects of years, DPP presence/absence, and NDVI on the variation of SI-T index in oases of the region of Ziban, northeastern Algeria.

Variables	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
Intercept	93.514	0.002	1979340	56386.11	< 0.001
Year 1999	-0.031	0.001	1979340	-25.36	< 0.001
Year 2013	-0.636	0.001	1979340	-495.63	< 0.001
Presence of DPP	-1.398	0.003	1979340	-492.98	< 0.001
NDVI	-122.563	0.013	1979340	-9774.3	< 0.001

Std. Error: standard error, DF: degrees of freedom.

Moreover, the Algerian government launched in 1994, the great project for oasis development, which aimed the rehabilitation and extension of palm groves in order to sustainably double the current yield and date palms by the year 2010 (Dubost 1992). In reality, the instable prices of fossil fuels in the international market, which constitute the bulk of economic revenues of Algeria pushed the government to adopt new sustainable agro-ecological policy apart from the dependency on

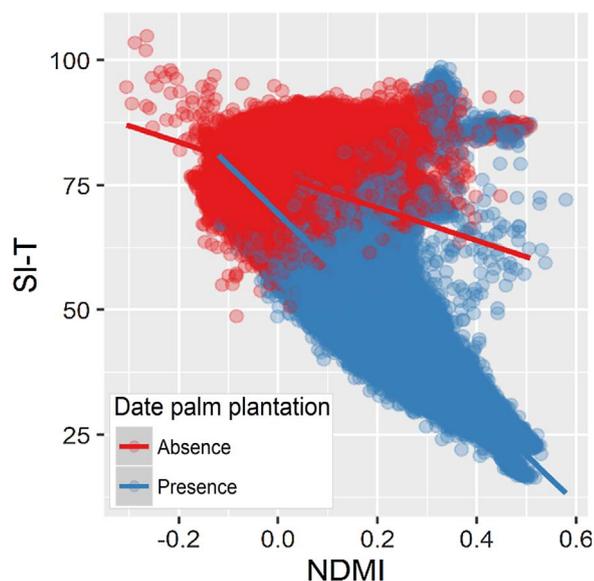


Fig. 7. Relationship between SI-T and NDMI indices by Date palm plantation presence/absence. The lines represent a linear regression with a GLM (generalized linear model) fit.

Table 7

GLMM testing the effects of presence/absence of DPP and NDMI on the variation of SI-T index in oases of the region of Ziban (Sahara Desert of Algeria).

SI-T	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
Intercept	75.717	0.004	1979342	21115.37	< 0.001
Presence of DPP	-11.863	0.012	1979342	-958.13	< 0.001
NDMI	-64.401	0.047	1979342	-1372.12	< 0.001

Std. Error: standard error, DF: degrees of freedom.

petroleum in order to ensure food self-sufficiency. As a result of the agriculture development, the number of date palms in Ziban region increased from 1.6 million in 1984–2.4 million in 1996, to reach 4.3 million trees in 2013 (Dubost and Larbi-Youcef 1998). Algeria ranks the 4th largest date producer worldwide with 789,357 million tons and 27,660 million USD profits during the year 2012 (Al-Khayri et al., 2015a; Bouguedoura et al., 2015).

Although water represents a limited resource in hot deserts, arid agriculture has high water footprints. For example, the annual gross water use in Algerian oases is 43–210 m³/palm and date fruit productivity is about 0.14–0.67 kg/m³ of water. To achieve these scores, farmers irrigate, on average, every ten days in winter and every two days in summer (FAO, 2008). Date yield in the Ziban region may reach up to 96.8 kg/palm due to good water use efficiency (0.51 kg/m³) (Delli and Mouhouche, 2017). In fact, drip irrigation system is the most commonly used method in modern DPP (Pasternak and Schlissel 2001). The latter is economically affordable for many farmers and makes high income since it allows less water use and high yield as it improves soil water holding capacity compared to the traditional irrigation methods used in old DPP (Hamamouche et al., 2017).

Actually, the variety Deglet-Noor dominated in the study area, because of its high commercial value in local and international markets. In agriculture in general, the monoculture model causes the marginalization and genetic erosion of indigenous and rare varieties, which most often have less commercial value than the dominant cultivar. The monoculture-based modern DPP exploitation in some of North African and Middle East oasis agrosystems has increased the fragility of oasis system and triggered its vulnerability to abiotic stresses and biological degradations (Al-Khayri et al., 2015a,b; Idder et al., 2015a,b; Jaradat, 2016). Contrariwise, Moussouni et al. (2017) revealed that high cryptic diversity was observed at both genomic and chloroplastic levels in date

palms from Algerian oases due to the impact of local agricultural management, in which farmers select heterozygous individuals and maintain them regularly. Furthermore, Algerian oases harbour about 800 date palm cultivars (Jaradat, 2011), where the most important cultivars are Deglet Noor (60%), Ghars, Hartan, Hmira, Takerboucht, Tazerzayte, and Tinnacer (Jain et al., 2011).

The high values of NDVI indicate woody vegetation, in this case orchards of DPP where their photosynthetic activity is higher, as hypothesized, compared to the scattered desert plant communities or barren lands characterized by low NDVI values (Luedeling and Buerkert 2008). Lamchin et al. (2016), reported that NDVI values were highly recommended to differentiate between desertified and non-desertified areas. Indeed, desertification-affected areas were characterized by NDVI values < 0.50, otherwise, non-desertified areas have values greater than this threshold.

When CI values ranged between 0.56 and 0.78, this indicates vegetated sandscape (Karnieli 1997). Active and mobile sand dunes without vegetation cover possess CI values ≤ 0.56 and NDVI values ≤ 0.01 (Maman et al., 2011). The negative relationship found between green vegetation cover and sandy desertification is in agreement with the study of Wang (2013), which indicated that sandy desertification decreased with the increase of the vegetation cover, and increased whenever the vegetation cover decreased. Zhou et al. (2004), affirmed also that content of sand in oasis soil was lower compared to clay content. Wang (2013), informed again that there is a solid relationship between salinization and sandy desertification in desert areas, because the continuous water evaporation causes a gradually increasing of salt accumulation in the soil, which in turn triggers the degradation and decrease of natural vegetation cover due to abiotic and/or biotic stresses (Chenchouni 2017). Practically, DPP of Ziban region are located in wind corridor of sand drift from the Hodna basin towards the eastern Algerian Big Ergs of the Sahara, which explain the widespread of sand deposits in the abandoned oasis in the west of the study area (Boureboune and Benazzouz 2009). Therefore, the direction of sand encroachment started from northwest towards southeast of Algeria (Ballais 2005). Hence, many plant species were buried under sand masses and replaced by sand dunes vegetation taxa such as psammophytic communities.

Results of NDMI change are similar to the findings of Dedkov and Gunin (2014), which confirmed the important of soil moisture content in oasis areas compared to the barren or non-planted habitats of the desert. According to Aldakheel (2011), DPP remained evergreen with high NDVI values due to water irrigation availability in the irrigated soil; otherwise the naturel vegetation appeared with low NDVI values as a result of water stress conditions in the non-irrigated soils. The opposite relationship observed between SI-T and NDMI indices is linked to the difference in evaporation rates between different desert landscapes. Dense canopy structure of DPP had high moisture content compared to open canopy structure or open habitats. This mainly is due to the shade created by that canopy which reduces simultaneously temperature, evaporation, evapotranspiration, and salinity level (Howari and Goodell 2009; Alam and AlShaikh 2013; Assal et al., 2016).

The negative relationship found between SI-T and NDVI was confirmed by the study of Aldakheel (2011), in which high values of NDVI are deemed related to low salinity values of irrigation water in DPP, and the same results were found with Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) (Alhammadi and Glenn 2008; Allbed et al., 2014a). Besides, DPP tolerate high level of soil salinity compared to other permanent crops (Yaish and Kumar 2015). Although a threshold of 4 dS/m for soil salinity effects DPP yield (King and Thomas 2014), the threshold of date palm tolerance against salinity stress varies significantly between cultivars (Al-Abdoulhadi et al., 2011). However, the overuse of water aquifers resulted in salinization of freshwater aquifers and expansion of soil salinization, which both negatively affected DPP and other associated crops (Allbed et al., 2014b). Our findings revealed that the level of soil salinization in old oasis system was higher than modern oases.

This is in contradiction with Chinese oases where bad irrigation practices induced high soil salinity in modern oasis system (Wang et al., 2008). The DPP density is high in old oases of the Ziban (reaching up to 600 palms/ha, with irregular spacing between trees) compared to the modern oasis (100–200 palms/ha, with regular spacing). Inversely, yielding potential is much higher in modern DPP (up to 150 kg/tree) compared to old DPP (~20 kg/tree). These yield differences are due to the application of good farming techniques and practices (such as irrigation system, pollination, selection of good cultivars, and control of common pests and diseases) in modern DPP compared to old DPP (Hamamouche et al., 2017).

Overall, cultivated area with DPP have the highest NDVI, NDMI and CI values, but also the lowest SI-T values. Conversely, uncultivated areas occupied with desert plant communities have lower NDVI, NDMI and CI values, but also higher SI-T values during the studied period. Variations in NDVI, NDMI, SI-T and CI values within DPP are due to the effect of cultivars, tree ages, and planting density of date palms. On the one hand, old DPP orchards are characterized by aged trees, high varietal diversity, and high density because of the low distance between old date palm trees that are criss-crossed with various fruit trees (fig, grapevine, citron, pomegranate ...). On the other hand, modern palm plantations are characterized by young plantations, low varietal diversity mainly dominated by Deglet-Noor cultivar (monoculture plantation), and low tree density due to the high distances between trees. Indeed, DPP represent a successful mean that durably mitigates the effects of desertification and significantly reduces dune-encroachment (Bhansali, 2010); especially when (i) selecting date palm cultivars with suitable productive traits *i.e.* high yield, long potential production period (5–50 years), environmental stress tolerance, and pest and disease resistances, (ii) planting with suitable density (~120–200 trees/ha), and (iii) using sustainable modern technologies in farming and irrigation practices. According to Bouzaher and Alkama (2013), the farmers in the study area usually used two planting distances between trees (7 × 7 m and 5 × 5 m), but the model 5 × 5 m was revealed more suitable following local conditions. Al-Barrak (1990), proved that date palm tree improved soil fertility in terms of organic carbon compared to non-cultivated soil. Indeed, date palm tree is one of most adapted economic crop to edaphic and climatic conditions of hot desert regions (Kawy and El-Magd, 2013). Besides, date palm tree is well adapted to hot arid conditions and severe drought due to several important tolerance mechanisms (Arab et al., 2016). Furthermore, Cherif et al. (2015) reported that date palm root entophytic communities promoted the species tolerance against drought stress conditions. So as it is expected, the date palm represents a precious keystone species as farmland shelterbelt to control desertification exacerbation in drylands. It also provides key agricultural and ecological services to human populations inhabiting drylands.

5. Conclusion

In the Ziban region, the largest and top productive area of dates in Algeria, DPP heritage experienced a significant expansion in terms of surface area and tree number over past 30 years, with an increase of 48.22 km² (5.42%), and more than half millions of palm trees, respectively. This is equivalent to change rate of 1.66 km²/year and 20169 date palm trees/year. The statistical models showed highly significant positive relationship between NDVI–DPP, NDMI–NDVI, and CI–NDVI. However, negative relationships were found between SI-T in relation to NDVI and NDMI. DPP areas indicated high NDVI, NDMI and CI values, but low SI-T values. However, areas with no DPP showed low NDVI, NDMI, and CI values, with high SI-T values. Our findings demonstrated that DPP appear as protective shelterbelt of farmlands and desert urban areas against desertification and sand encroachment. Besides, remote sensing tool provided a useful approach to monitor, detect change and thus help in the conservation of fragile ecosystems across large zone and with reasonable time and cost efficiency.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

Funding

This study was not funded by any source.

Acknowledgements

The authors are grateful to Mr. Abdelkrim Arar (University of Msila, Algeria) for his assistance in digital image processing and Mr. Taha Menasria (University of Tebessa, Algeria) for helping in English editing.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.027>.

References

- A.I-Barrak, S.A., 1990. Characteristics of some soils under date palm in Al-Hassa eastern oasis, Saudi Arabia. *J. King Saud Univ.* 2 (1), 115–130.
- Afrasinei, G.M., Melis, M., Buttau, C., Bradd, J.M., Arras, C., Ghiglieri, G., 2017a. Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria). *J. Appl. Remote Sens.* 11, 016025. <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.11.016025>.
- Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Buttau, C., Arras, C., Zerrim, A., Guied, M., et al., 2017b. Classification methods for detecting and evaluating changes in desertification-related features in arid and semi-arid environments. In: Ouassar, M., Gabriels, D., Tsunekawa, A., Evett, S. (Eds.), *Water and Land Security in Drylands*. Springer, Netherlands, pp. 269–289. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-54021-4_23.
- Al-Abdoulhadi, I.A., Dinar, H.A., Eber, G., Btner, C., 2011. Effect of salinity on leaf growth, leaf injury and biomass production in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. *Indian J. Sci. Technol.* 4, 1542–1546.
- Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V., 2015a. Date palm genetic resources and utilization. Africa and the Americas. Springer, Netherlands. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1>.
- Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V., 2015b. Date palm genetic resources and utilization. Asia and Europe. Springer, Netherlands. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-9707-8>.
- Alam, S., AlShaikh, A.A., 2013. Use of palm fronds as shaded cover for evaporation reduction to improve water storage efficiency. *J. King Saud Univ. Eng. Sci.* 25, 55–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2012.01.003>.
- Aldakheel, Y.Y., 2011. Assessing NDVI spatial pattern as related to irrigation and soil salinity management in Al-Hassa Oasis, Saudi Arabia. *J. Soc. Remote Sens.* 39, 171–180. <http://dx.doi.org/10.1007/s12524-010-0057-z>.
- Alexandridis, T.K., Zalidis, G.C., Silleos, N.G., 2008. Mapping irrigated area in Mediterranean basins using low cost satellite Earth Observation. *Comput. Electron. Agric.* 64, 93–103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.04.001>.
- Alhammedi, M.S., Glenn, E.P., 2008. Detecting date palm trees health and vegetation greenness change on the eastern coast of the United Arab Emirates using SAVI. *Int. J. Remote Sens.* 29, 1745–1765. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701395195>.
- Allbed, A., Kumar, L., Aldakheel, Y.Y., 2014a. Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: applications in a date palm dominated region. *Geoderma* 230, 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.025>.
- Allbed, A., Kumar, L., Sinha, P., 2014b. Mapping and modelling spatial variation in soil salinity in the Al Hassa Oasis based on remote sensing indicators and regression techniques. *Remote Sens.* 6, 1137–1157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.025>.
- Arab, L., Kreuzwieser, J., Kruse, J., Zimmer, I., Ache, P., Alfarraj, S., et al., 2016. Acclimation to heat and drought—lessons to learn from the date palm (*Phoenix dactylifera*). *Environ. Exp. Bot.* 125, 20–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.01.003>.
- Arar, A., Chenchouni, H., 2012. How could geomatics promote our knowledge for environmental management in Eastern Algeria? *J. Environ. Sci. Technol.* 5 (5), 291–305. <http://dx.doi.org/10.3923/jest.2012.291.305>.
- Assal, T.J., Anderson, P.J., Sibold, J., 2016. Spatial and temporal trends of drought effects in a heterogeneous semi-arid forest ecosystem. *For. Ecol. Manage.* 365, 137–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.017>.
- Ballais, J.L., 2005. Les villes sahariennes et les ressources en eau. La ville et le désert, le Bas-Sahara algérien Karthala–IREMAM. Paris–Aix-en-Provence.
- Benabderrahmane, M.C., Chenchouni, H., 2010. Assessing environmental sensitivity areas to desertification in eastern Algeria using Mediterranean desertification and land use MEDALUS model. *Int. J. Sustain. Water Environ. Syst.* 1, 5–10. <http://dx.doi.org/10.5383/swes.01.01.002>.
- Benchelah, A.C., Maka, M., 2008. Les dattes: intérêt en nutrition. *Phytothérapie* 6, 117–121. <http://dx.doi.org/10.1007/s10298-008-0296-0>.

- Bhansali, R.R., 2010. Date palm cultivation in the changing scenario of Indian arid zones: challenges and prospects. In: Ramawat, K.G. (Ed.), *Desert Plants*. Springer, Netherlands, pp. 423–459. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02550-1_20.
- Bouguedoura, N., Bennaceur, M., Babahani, S., Benziouche, S.E., 2015. Date palm status and perspective in Algeria. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V. (Eds.), *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands, pp. 125–168. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1_4.
- Boureboune, L., Benazzou, M.T., 2009. Aeolian morphogenesis and strategy of fight against desertification in Algeria (Hodna and Zibans Basin). In: Marini, A., Talbi, M. (Eds.), *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data*. Springer, Netherlands, pp. 91–103. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8937-4_8.
- Bouzaher, S.L., Alkama, D., 2013. The requalification of the palm trees of Ziban as a tool for sustainable planning. *Proc. Soc. Behav. Sci.* 102, 508–519. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.767>.
- Carr, M.K.V., 2013. The water relations and irrigation requirements of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.): A review. *Exp. Agric.* 49, 91–113. <http://dx.doi.org/10.1017/S0014479712000993>.
- Chander, G., Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 41, 2674–2677. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2003.818464>.
- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sens. Environ.* 113, 893–903. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>.
- Chasek, P., Safriel, U., Shikongo, S., Fuhrman, V.F., 2015. Operationalizing zero net land degradation: the next stage in international efforts to combat desertification? *J. Arid Environ.* 112, 5–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.020>.
- Chenchouni, H., Benabderrahmane, M.C., Arar, A., 2010. Modeling and mapping desertification risk in eastern Algeria with geomatic data. In: *Proceedings of the IECHAR Conference (1–2 May 2010)*. Al-Ahsa, KSA. pp. 213–217.
- Chenchouni, H., 2012a. Diversity assessment of vertebrate fauna in a wetland of hot hyperarid lands. *Arid Ecosyst.* 2, 253–263. <http://dx.doi.org/10.1134/S2079096113010022>.
- Chenchouni, H., 2012b. Diversité floristique d'un lac du Bas-Sahara algérien. *Acta Bot. Malacitana* 37, 33–44.
- Chenchouni, H., 2017. Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral salt lake Sabkha ecosystem at North African semi-arid lands. *Sci. Total Environ.* 575, 660–671.
- Cherif, H., Marasco, R., Rolli, E., Ferjani, R., Fusi, M., Soussi, A., et al., 2015. Oasis desert farming selects environment-specific date palm root endophytic communities and cultivable bacteria that promote resistance to drought. *Environ. Microbiol. Rep.* 7, 668–678. <http://dx.doi.org/10.1111/1758-2229.12304>.
- Ci, L., Yang, X., Yang, Y., 2010. Concept and global status of desertification. In: Ci, L., Yang, X. (Eds.), *Desertification and Its Control in China*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 1–28. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01869-5_1.
- De Grenade, R., Nabhan, G.P., Olvera, M.C., 2016. Oases of the Baja California peninsula as sacred spaces of agrobiodiversity persistence. *Agric. Hum. Values* 33, 455–474. <http://dx.doi.org/10.1007/s10460-015-9621-z>.
- De Grenade, R., 2013. Date palm as a keystone species in Baja California peninsula, Mexico oases. *J. Arid Environ.* 94, 59–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.02.008>.
- Dedkov, V.P., Gunin, P.D., 2014. On the microclimate of natural oases of the extremely arid desert of the Transaltai Gobi. *Arid Ecosyst.* 4, 253–258. <http://dx.doi.org/10.1134/S2079096114040039>.
- Delli, R., Mouhouche, B., 2017. Évaluation de l'Eau Virtuelle de la Phoeniciculture Algérienne pour sa Meilleure Utilisation. *Can. Biosyst. Eng.* 59, 1–7. <http://dx.doi.org/10.7451/CBE.2017.59.1.1>.
- Dooley, E., 2002. EHPnet: united nations convention to combat desertification. *Environ. Health Perspect.* 110, A77.
- Dubost, D., Larbi-Youcef, Y., 1998. Mutations agricoles dans les oasis algériennes: l'exemple des Ziban. *Sécheresse* 9, 103–110.
- Dubost, D., 1992. Aridité, agriculture et développement: le cas des oasis algériennes. *Sécheresse* 3, 85–96.
- FAO, 2008. In: *Proceedings of the Workshop on Irrigation of Date Palm and Associated Crops*. Damascus, Syria, May 27–30, 2007.
- Gebauer, J., Luedeling, E., Hammer, K., Nagieb, M., Buerkert, A., 2007. Mountain oases in northern Oman: an environment for evolution and in situ conservation of plant genetic resources. *Genet. Resour. Crop Evol.* 54, 465–481. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-006-9205-2>.
- Gnacadjia, L., 2015. New challenges in science and policies to Combat Desertification. *J. Arid Environ.* 112, 1–4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.10.010>.
- Guezoul, O., Chenchouni, H., Sekour, M., Ababsa, L., Souttouk, K., Doumandji, S., 2013. An avifaunal survey of mesic managed ecosystems Oases in Algerian hot-hyperarid lands. *Saudi J. Biol. Sci.* 20, 37–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.10.001>.
- Hadeel, A.S., Jabbar, M.T., Chen, X., 2010. Application of remote sensing and GIS in the study of environmental sensitivity to desertification: a case study in Basrah Province, southern part of Iraq. *Appl. Geomatics* 2, 101–112. <http://dx.doi.org/10.1007/s12518-010-0024-y>.
- Hamamouche, M.F., Kuper, M., Riaux, J., Leduc, C., 2017. Conjunctive use of surface and ground water resources in a community-managed irrigation system—the case of the Sidi Okba palm grove in the Algerian Sahara. *Agric. Water Manage.* 193, 116–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.005>.
- Hooke, J., Sandercock, P., 2012. Use of vegetation to combat desertification and land degradation: recommendations and guidelines for spatial strategies in Mediterranean lands. *Landscape Urban Plann.* 107, 389–400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.07.007>.
- Howari, F.M., Goodell, P.C., 2009. Characterization of salt-crust build-up and soil salinization in the United Arab Emirates by means of field and remote sensing techniques. In: Metternicht, G., Zinck, J.A. (Eds.), *Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management*. CRC Press, pp. 141–154. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420065039.ch8>.
- Ibrahim, Y.Z., Balzter, H., Kaduk, J., Tucker, C.J., 2015. Land degradation assessment using residual trend analysis of GIMMS NDVI3g, soil moisture and rainfall in Sub-Saharan west Africa from 1982 to 2012. *Remote Sens.* 7, 5471–5494. <http://dx.doi.org/10.3390/rs70505471>.
- Idder, M.A., Ighili, H., Mitiche, B., Chenchouni, H., 2015a. Influence of date fruit biochemical characteristics on damage rates caused by the carob moth (*Ectomyelois ceratoniae*) in Saharan oases of Algeria. *Sci. Hort.* 190, 57–63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.015>.
- Idder-Ighili, H., Idder, M.A., Doumandji-Mitiche, B., Chenchouni, H., 2015b. Modeling the effects of climate on date palm scale (*Parlatoria blanchardi*) population dynamics during different phenological stages of life history under hot arid conditions. *Int. J. Biometeorol.* 59 (10), 1425–1436. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0952-z>.
- Jain, S.M., Al-Khayri, J.M., Johnson, D.V. (Eds.), 2011. *Date Palm Biotechnology*. Springer, Netherlands.
- Jaradat, A.A., 2011. *Biodiversity of Date Palm Encyclopedia of Life Support Systems: Land Use, Land Cover and Soil Sciences*. Eolss Publishers, Oxford, UK, pp. 31.
- Jaradat, A.A., 2016. Genetic erosion of *Phoenix dactylifera* L.: perceptible, probable, or possible. In: Ahuja, M.R., Jain, S.M. (Eds.), *Genetic Diversity and Erosion in Plants*. Springer International Publishing, pp. 131–213. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-25954-3_4.
- Karnieli, A., 1997. Development and implementation of spectral crust index over dune sands. *Int. J. Remote Sens.* 18, 1207–1220. <http://dx.doi.org/10.1080/014311697218368>.
- Kawy, W.A.M.A., El-Magd, I.H.A., 2013. Use of satellite data and GIS for assessing the agricultural potentiality of the soils South Farafra Oasis, Western Desert, Egypt. *Arab. J. Geosci.* 6, 2299–2311.
- King, C., Thomas, D.S., 2014. Monitoring environmental change and degradation in the irrigated oases of the Northern Sahara. *J. Arid Environ.* 103, 36–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.12.009>.
- Konecny, G., 2014. *Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems*. CRC Press.
- Lamchin, M., Lee, J.Y., Lee, W.K., Lee, E.J., Kim, M., Lim, C.H., et al., 2016. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Adv. Space Res.* 57, 64–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>.
- Landsat-NASA, 2011. *Landsat 7 — Science Data Users Handbook*. 2011-03-11. URL: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/inst_ca/prog_sect5_2.html. (accessed 8.11.17).
- Liu, S., Wang, T., Kang, W., David, M., 2015. Several challenges in monitoring and assessing desertification. *Environ. Earth Sci.* 73, 7561–7570. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3926-x>.
- Luedeling, E., Buerkert, A., 2008. Typology of oases in northern Oman based on Landsat and SRTM imagery and geological survey data. *Remote Sens. Environ.* 112, 1181–1195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.08.007>.
- Maman, S., Blumberg, D.G., Tsoar, H., Mamedov, B., Porat, N., 2011. The Central Asian ergs: a study by remote sensing and geographic information systems. *Aeolian Res.* 3, 353–366. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.09.001>.
- Moussouni, S., Pintaud, J.C., Vigouroux, Y., Bouguedoura, N., 2017. Diversity of Algerian oases date palm (*Phoenix dactylifera* L., Arecaceae): Heterozygote excess and cryptic structure suggest farmer management had a major impact on diversity. *PLoS One* 12, 1–14. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0175232>.
- Neffar, S., Chenchouni, H., Beddiar, A., Redjel, N., 2013. Rehabilitation of degraded rangeland in drylands by Prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations: effect on soil and spontaneous vegetation. *Ecol. Balkanika* 5, 63–76.
- In: Pasternak, D., Schlissel, A., 2001. *Combating Desertification with Plants*. Springer, USA.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., Core Team, R., 2015. *Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R Package Version 3. pp. 1–120. (URL): <http://cran.r-project.org/package=lme4>.
- Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P., Huber-Sannwald, E., 2007. Global desertification: building a science for dryland development. *Science* 316, 847–851. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1131634>.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.H., Harlan, J.C., 1974. *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation*. NASA/GSFC, Greenbelt, MD.
- Safriel, U.N., 2009. Status of desertification in the Mediterranean region. In: Rubio, J.L., Safriel, U., Daussa, R., Blum, W., Pedrazzini, F. (Eds.), *Water Scarcity, Land Degradation and Desertification in the Mediterranean Region*. Springer, Netherlands, pp. 33–73. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-2526-5_3.
- Shanzhong, Q., Xiaoyu, L., 2010. Effect of population pressure on oasis agriculture (1984–2003) in Jinta Oasis, arid Northwest China. *The Environmentalist* 30, 131–132. <http://dx.doi.org/10.1007/s10669-009-9252-2>.
- Stavi, I., Lal, R., 2015. Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. *J. Arid Environ.* 112, 44–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.016>.
- Tengberg, M., 2014. *Date palm: origins and development*. In: Smith, C. (Ed.), *Encyclopedia of Global Archaeology*. Springer, New York, pp. 2033–2035. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0465-2_2175.
- Tripathi, N.K., Rai, B.K., Dwivedi, P., 1997. *Spatial Modeling of Soil Alkalinity in GIS Environment Using IRS Data*. In: *The 18th Asian Conference on Remote Sensing*. Kuala Lumpur.
- Van den Elsen, E., Jetten, V., 2015. Combatting desertification using a multidisciplinary approach. *Catena* 128, 211–213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.001>.

- Vicente-Serrano, S.M., Pérez-Cabello, F., Lasanta, T., 2008. Assessment of radiometric correction techniques in analyzing vegetation variability and change using time series of Landsat images. *Remote Sens. Environ.* 112, 3916–3934. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.011>.
- Wang, Y., Li, Y., Xiao, D., 2008. Catchment scale spatial variability of soil salt content in agricultural oasis, Northwest China. *Environ. Geol.* 56 (2), 439–446.
- Wang, X., 2013. Sandy desertification: borne on the wind. *Chin. Sci. Bull.* 58, 2395–2403. <http://dx.doi.org/10.1007/s11434-013-5771-9>.
- Wilson, E.H., Sader, S.A., 2002. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sens. Environ.* 80, 385–396. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2).
- Xie, Y., Wang, G., Wang, X., 2015. Spatio-temporal process of oasisification in the middle-Heihe River basin during 1368–1949 AD, China. *Environ. Earth Sci.* 73, 1663–1678. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3519-8>.
- Yaish, M.W., Kumar, P.P., 2015. Salt tolerance research in date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), past, present, and future perspectives. *Front. Plant Sci.* 6, 348–350. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00348>.
- Zanter, K., 2016. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. LSDS-1574 Version, 2. URL: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf> (accessed 10.11.17).
- Zhou, X., Wan, L., Fang, B., Cao, W.B., Wu, S.J., Hu, F.S., Feng, W.D., 2004. Soil moisture potential and water content in the unsaturated zone within the arid Ejina Oasis in Northwest China. *Environ. Geol.* 46, 831–839. <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-004-1068-2>.

