



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques

MEMOIRE

de fin d'études Pour l'obtention du diplôme

de **Magister en Sciences Agronomiques**

Option: **Agriculture et Environnement en Régions Arides**

THEME

Etude spatio-temporelle diachronique
des changements par l'indice de
végétation dans la région de Tolga.
Approche cartographique par
télédétection.

Présenté par : **REKIS Abdelkrim**

Devant le jury composé de:

Président : **Mr SELLAMI Mehdi**, Professeur, ENSA El-Harrach, Alger

Directeur de mémoire : **Mr BELHAMRA Mohamed**, Professeur, Université de Biskra

Examinateurs : **Mr BICHE Mohamed**, Maître de conférences, ENSA El-Harrach, Alger

Mme FRAH GUETTALA Naama, Maître de conférences, Université de Batna

Année Universitaire: 2011 / 2012

Remerciements

Au terme de ce travail, j'adresse mes plus vifs remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail :

Monsieur BELHAMRA Mohamed, Professeur à l'Université de Biskra, pour avoir accepté de diriger cette recherche et pour son appui ses conseils et ses orientations tout au long de ce travail. Je lui adresse mes vifs remerciements et ma reconnaissance.

Monsieur SELLAMI Mehdi, Professeur à l'Ecole National des Sciences Agronomiques El-Harrach Alger, qui nous a honoré de présider le jury de ma soutenance.

Monsieur BICHE Mohamed, Maître de conférences à l'Ecole National des Sciences Agronomiques El-Harrach Alger, qui nous a honoré d'être membre de jury de ma soutenance.

Madame FRAH GUETTALA Naama, Maître de conférences à l'Université El Hadj Lakhdar Batna, qui nous a honoré d'être membre de jury de ma soutenance.

Monsieur SALAMANI, Enseignant à l'Université Houari Boumedien d'Alger, qui nous a honoré d'être membre de jury de ma soutenance de ma soutenance. Je lui exprime mes profonds remerciements et reconnaissance, pour les nombreuses séances de travail qu'il m'a accordées. Ses conseils et critiques qui m'ont beaucoup aidée dans l'avancement et l'orientation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma très profonde gratitude.

Monsieur LAID Kamel, Enseignant à l'Université de Djelfa, qui nous a honoré d'être inviter au jury de ma soutenance. Je lui exprime mes profonds remerciements et reconnaissances, pour les nombreuses séances de travail qu'il m'a accordées. Ses conseils et critiques qui m'ont beaucoup aidée dans l'avancement et l'orientation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma très profonde gratitude.

Monsieur TABET Slimane, chercheur au CRSTRA Biskra, Je lui exprime mes profonds remerciements et reconnaissance, pour les nombreuses séances de travail qu'il m'a accordées. Ses conseils et critiques qui m'ont beaucoup aidée dans l'avancement et l'orientation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma très profonde gratitude.

Mes remerciements vont également aux chercheurs de CNTS d'Arzew sur l'aide que nous a offert.

Mes remerciements à Monsieur MIMOUNI Mostefa chercheur à l'agence spatiale algérienne (ASAL).

Mes remerciements aux personnels du département des sciences agronomiques à l'université de Biskra.

Résumé

Le développement économique de la région des Zibans est essentiellement basé sur l'agriculture, la présente étude est réalisée dans la région de Tolga basée sur une approche descriptive et analytique diachronique afin de cerner dans l'espace et dans le temps, l'expansion et/ou le rétrécissement des aires occupées par la végétation des écosystèmes naturels y compris les agrosystèmes oasiens.

La méthodologie s'appuie essentiellement sur l'analyse de NDVI des images satellitaires et des sorties sur terrain.

L'analyse floristique nous a permis d'identifier une diversité biologique importante, la moitié d'espèces vivaces et la moitié d'espèces éphémères avec des types biologiques dominés par les chamaephytes et ensuite les théophytes.

Nous avons démontré qu'en l'espace d'une douzaine d'années (1999/2010) la fluctuation de la couverture végétale pourrait passer d'une valeur minimale de 3% dans les périodes les plus sèches (1999) à plus de 95 % en période assez pluvieuse (2010). Aussi les efforts de développement de l'agriculture oasienne via l'expansion de la palmeraie ont concerné 1110 Ha en douze années, soit 100Ha par ans.

Comparurent aux données de la direction de l'agriculture obtenues par cumule des informations nous résultats restent assez proche.

Nous avons établis des cartes photo interprétatives qui permet servir d'outils d'aide à la décision.

Mots clés : Télédétection, végétation, étude diachronique, Indice NDVI, carte des changements, carte des palmeraies, Tolga.

ملخص

النمو النباتي لمنطقة الزيبيان يرتكز أساساً على الزراعة و منه فإن الدراسة المنجزة في منطقة طولقة و المعتمدة على مقاربة وصفية تحليلية ثنائية التاريخ في الزمان و المكان لمعرفة توسيع أو انكماش المساحات المستغلة من طرف النباتات الطبيعية لأنظمة البيئية الطبيعية و كذا الزراعية الواحاتية.

المنهجية المتبعة تعتمد على تحليل محدد لصور الأقمار الصناعية و الخرجات الميدانية.

التحليل النباتي سمح لنا بالتعرف على تنوع نباتي مهم جداً في المنطقة و بين لنا أن نصف النباتات دائمة و النصف الآخر موسمية و ذات أصناف بيولوجية غالب عليها الكاميفيت و يأتي بعدها التيروفيت.

في فترات الجفاف (1999) % تبين لنا في مدة 12 سنة (1999/2010) تغيرات الغطاء النباتي من قيمة دنيا 3 في الفترات الممطرة (2010). كما أن المجهودات المبذولة لتنمية الزراعة % 95 إلى قيمة قصوى أكثر من الواحاتية بتوسيع واحات النخيل بـ 1110 هكتار في هذه المدة أي حوالي 100 هكتار في السنة.

بالمقارنة مع معطيات مصالح إدارة الزراعة، النتائج المحصل عليها كانت متقاربة جداً.

و قد أنجزنا خرائط صور تفسيرية و محددات نباتية التي تسمح باتخاذ القرار.

الكلمات المفتاح :

، خريطة التغيرات، خريطة النخيل، طولقة NDVI الاستشعار عن بعد، نبات، دراسة ثنائية الزمن، محدد

Abstract

As a matter of fact, the Ziban region economic development is based essentially on agriculture. Thus this work is realized in the region of Tolga using diachronic analytic descriptive approach in order to determine the changes resulted from the expansion and/or shrinking of the areas occupied by the natural ecosystem vegetations including the oasis ecosystem.

The methodology which is applied focuses mainly on the analysis of NDVI of satellite images and field work.

The floristic analysis has shown an important biological diversity, one half is vivace species and another half is seasonal species, with biological types dominated by chamaephytes then therophytes.

In a duration of twelve years (1999/2010), we have noticed that the change of vegetal carpet could vary from a minimal value of 3 % during the very dry periods (1999) to more than 95 % in rainy periods (2010). In addition to the efforts of developing oasis agriculture via the expansion of about 1110 ha dates' palm-trees in twelve years, that is 100 Ha per year.

By comparing our findings to the agriculture department data, which are obtained by the accumulation of data, we can notice that our results are too close to that of the department.

According to these results, which were got by the smart use of the bi-date (1999-2010) satellite data, we have established a collection of interpretative-photo cards and vegetation indexes; which are so helpful in decision-making.

Key words: Remote sensing, vegetation, diachronic study, NDVI index, changes card, palm-trees card, Tolga.

Liste des cartes

N°	Titres	page
1	Situation administrative de la commune de Tolga	4
2	Carte d'occupation du sol de la wilaya de Biskra (ASAL et DGF, 2010)	22
3	Carte NDVI de Tolga en 1999	75
4	Carte NDVI de Tolga en 2010	76
5	Carte des changements	79
6	Carte des palmeraies de Tolga au 1999	84
7	Carte des palmeraies de Tolga au 2010	85

Liste des figures

N°	Titres	page
1	Pluies moyennes mensuelles de Biskra 1999-2010	10
2	Variations internationales des précipitations de Biskra 1999-2010	10
3	Variations saisonnières des précipitations de Biskra de l'année 1999 et l'année 2010.	11
4	Températures moyennes, maximales et minimales de Biskra 1999-2010	12
5	Diagramme ombrothermique de GausSEN de Biskra 1999-2010	15
6	Climagramme d'Emberger de Biskra 1999-2010	17
7	Image satellite (CCT)	25
8	Les étapes du processus de la télédétection (CCT)	26
9	Onde électromagnétique (LILLESAND et KIEFFER, 1987)	27
10	Spectre électromagnétique et les systèmes de télédétection (LILLESAND et KIEFFER, 1987)	28
11	Les types de réflexion (BONN et <i>al.</i> , 1992)	29
12	Absorption, réflexion et transmission (BONN et <i>al.</i> , 1992)	29
13	Télédétection active et télédétection passive (CCRS/CCT)	32
14	Télédétection active et télédétection passive (CCRS/CCT)	34
15	Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle	37
16	Rehaussement des images: amélioration de la qualité visuelle de l'image afin de faciliter son interprétation	38
17	Rehaussement de l'image (CCT, 2005)	39
18	Classification de l'image	41
19	Classification supervisée. Classification supervisée	42
20	Courbes typiques de la reflectance spectrale de la végétation du sol et de l'eau (LILLESAND et KIEFFER, 1987)	44
21	Les quatre types de résolution des données LANDSAT	46
22	Approche méthodologique du travail	59
23	Image satellitaire de la région de Tolga en 1999	60
24	Image satellitaire de la région de Tolga en 2010	60
25	Représentation des types biologiques	66
26	Représentation des types morphologiques	67
27	Dominance et densité pour station1	68
28	Dominance et densité pour station 2	6
29	Composition colorée fausse couleur de l'image satellitaire	72
30	Droite de normalisation du canal TM3	74
31	Droite de normalisation du canal TM4	75
32	Régions d'intérêts sélectionnées sur l'image satellitaire de 1999 (ROI)	82
33	Régions d'intérêts sélectionnées sur l'image satellitaire de 2010 (ROI)	83

Liste des tableaux

N°	Titres	page
1	Réseau hydrographique de la région de Biskra	6
2	Moyenne mensuelle de la hauteur de pluie de Biskra 1999-2010	9
3	Précipitations (en mm) moyenne saisonnière de la période 1999-2010	11
4	Moyenne mensuelle de la température de Biskra de 1999-2010	12
5	Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de Biskra de 1999-2009	13
6	moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra de 1999-2010	13
7	Moyenne mensuelle de la durée d'insolation de Biskra de 1999-2010	14
8	Evapotranspiration potentielle de Biskra de 1999-2010	14
9	Affectation générale des terres de la wilaya de Biskra et la commune de Tolga.	21
10	L'historique des satellites LANDSAT	30
11	Caractéristiques des principaux systèmes satellitaires d'observation de la terre dans les bandes du visible et du proche infrarouge	35
12	Relations entre couleurs et bandes spectrales pour les images couleurs et infrarouge	45
13	Relevés floristiques de la station 1	62
14	Relevés floristiques de la station 2	63
15	Espèces inventoriées suivant les différentes familles, type biologiques et types morphologiques	64
16	Les types biologiques et leurs taux	66
17	Les types morphologiques et leurs taux	66
18	Indice d'occurrence obtenu de chaque espèce	69
19	Richesse spécifique, diversité maximale et indices de Shannon et d'équitabilité	70
20	Moyennes radiométriques des échantillons sélectionnés pour l'estimation de la droite de normalisation atmosphérique	74
21	Résultats obtenus du changement de la végétation	79
22	Nombre de palmiers et leur superficie de Tolga	83
23	Résultats obtenus de la carte des palmeraies de Tolga	83

Liste des abréviations

ANAT : Agence nationale d'aménagement de territoire.

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques.

AVHRR : Advanced very high resolution radiometer.

CCRS : *Canada center for remote sensing*.

CCT : Centre canadien de télédétection.

cm : centimètre.

CNTS : Centre national des techniques spatiales.

CRTS : Centre royal des techniques spatiales.

DGF : Direction générale des forêts.

DPAT : Direction de planification et d'aménagement du territoire.

DSA : Direction des services agricoles.

ETM : *Enhanced thematic mapper*.

ENVI : *Environment for Visualising Images*.

ERTS : Earth Resources Technology Satellite.

Ha : hectare.

IB : indice de brillance.

Km : kilomètre.

LANDSAT : *Land satellite*.

LIDAR : *Light Détection And Ranging*.

MIR : moyen infrarouge.

mm : millimètre.

MSS : *Multi spectral scanner*.

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index* ou Indice de Végétation par la Différence Normalisée.

nm : nanomètre.

ONM : Office national de la météorologie.

PIR : proche infrarouge.

RADAR : *Radio Détection And Ranging*.

ROI : Région d'intérêt.

SIG : Système d'information géographique.

SPOT : Système Polyvalent d'Observation de la Terre ou Système Probatoire d'Observation de la Terre.

TM : Thématique mapper.

UTM : *Universal transverse mercator*

Sommaire

Introduction	1
Chapitre 1: Présentation de la région d'étude	4
11-Situation géographique	4
12-Etude du milieu	5
121-Relief	5
122-Montagnes	5
123-Plateaux.....	5
124-Plaines	5
125-Dépressions	5
126-Les formations sableuses	5
13-Réseau hydrographique	6
14-Hydrogéologie de la région	6
141-Les nappes superficielles	6
142-Les nappes des sables	7
143-les nappes des calcaires	7
144- La nappe du continental intercalaire	7
15- Les différents types du sol	7
151-Sols peu évolués	8
152-Sols calcimagnésiques	8
153-Sols halomorphes	8
16-Climat	9
161-Précipitations	9
1611-Précipitations mensuelles	10
1612-Précipitations annuelles	10
1613- Régime des précipitations saisonnières	11
162-Température	12
-Ecarts thermiques.....	12
163-Vent	13
164-Humidité de l'air	13
165-Insolation	13
166-Evapotranspiration	14
17-Synthèse climatique	14
171-Diagramme Ombrathermique de GAUSSEN	14
172-Indice xérothermique d'EMBERGER	15
173-Aridité du climat	15
174-Climagramme pluviométrique d'EMBERGER	16
175-Type du climat	16
176-Indice d'aridité de De Martonne	17
18-Les phénomènes climatiques	18
181-Le sirocco	18
182-Les tempêtes de sables	18
19-Couvert végétal	19
110-Occupation du sol	20
111-Population et socioéconomie	20

Chapitre 2 : Notions fondamentales sur la télédétection	23
21-Télédétection	23
211-Définitions	23
212-Apport de la télédétection	24
Les données de télédétection	24
213-Etapes du processus de la télédétection	25
214-Spectre électromagnétique	26
Réponse du milieu observé	28
La réflexion	29
L'absorption	29
Transmission	29
215-Satellites d'observation de la terre	30
2151-Plate-forme	30
2152-Composantes du satellite	31
2153-Capteur	31
Le capteur actif	32
Le capteur passif	32
2154-Orbite des satellites	33
L'orbite circulaire	33
L'orbite géostationnaire	33
L'orbite héliosynchrone	33
2155-Satellites d'observation de la terre	34
216-Traitements des données de télédétection	35
2161-Prétraitement	36
A-Corrections radiométriques	36
B-Corrections géométriques	37
C-Géoréférencement de l'image.....	37
2162-Traitement	38
21621-Rehaussement de l'image Rehaussement de l'image	38
21622-Les transformations d'images	39
21623-Classification de l'image satellitaire	40
A-La classification non supervisée (non dirigée)	41
B-La classification supervisée (dirigée)	41
217-Composition colorée	43
218-Synthèse des néo-canaux	43
L'indice de végétation	43
L'indice de brillance	44
219-Réflectance spectrale de la végétation, du sol et de l'eau	44
2110-Les différents types de résolution.....	46
22-Notion de changement de la végétation	46
221-Fluctuations	46
222-Successions	47
Chapitre 3 : Matériels et méthodes	48
31- Etude floristique.....	48
311- Le relevé phytosociologique	48
312- Calcul de l'aire minimale	48

313- Taille du relevé	49
314- La liste des espèces végétales.....	49
315- Le taux de recouvrement.....	49
316- La densité	49
317- La fréquence.....	49
318- Le coefficient d'abondance dominance de BRAUN BLANQUET.....	50
319- Coefficient de sociabilité.....	50
3110-Indice d'occurrence ou constance.....	51
3111-La richesse spécifique totale.....	51
3112-Indice de diversité de Shannon.....	51
3113- 3113-Indice d'équiperatition ou équitabilité.....	52
32- Etude des images satellitaires.....	52
321-Matériel utilisé	53
322-Données utilisées	53
323- Le satellite Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper)	54
324-Approche méthodologique	54
3241-Etude diachronique.....	56
Chapitre 4 : Résultats et discussions	61
41. Etude de la végétation.....	61
411- Analyse floristique.....	61
412- Composition floristique.....	63
413- Les types biologiques.....	65
414- Les types morphologiques.....	66
415- Abondance dominance.....	67
416- Densité.....	67
3110-Indice d'occurrence ou constance.....	69
3111-La richesse spécifique.....	70
3112-Indice de Shannon.....	70
3113- 3113-Indice d'équiperatition ou équitabilité.....	70
42- Etude diachronique des images satellitaires.....	71
421-Les données de terrain	71
422-Traitements des images Traitements des images	71
423-Création de la composition colorée	71
424-Normalisation	73
425-Masquage	75
426-Indice de la végétation : NDVI	76
427-Classification	79
428-Carte des changements	79
429-Carte des palmeraies	82
Conclusion	88
Références bibliographiques	90
Annexes	99

Introduction

Le besoin croissant d'estimer, de prévoir, de surveiller et de gérer la végétation dans toutes les parties du monde et à différentes échelles (locale, régionale et globale) tend à faire ressortir la nécessité d'améliorer en permanence les méthodes de recueil systématique et périodique d'informations caractérisant la végétation. L'analyse et la combinaison de ces informations permettra par la suite de cartographier l'état de la végétation, de suivre les phénomènes évolutifs et accéder à certaines zones bioclimatiques difficilement explorables (CRTS., 2004).

L'objectif de cette étude est de montrer d'une part, le potentiel de l'utilisation de la télédétection pour la caractérisation de l'état de l'occupation du sol des zones arides et son évolution spatio-temporelle à partir d'une étude diachronique d'images satellitaires de Landsat de différentes dates (1999 et 2010).

D'autre part, de mettre à la disposition des utilisateurs potentiels, des responsables, élus locaux et des décideurs les informations fiables et mises à jour sur l'état de l'environnement et les ressources naturelles.

Le palmier dattier étant la plante de base, c'est autour d'elle que sont organisés les systèmes agricoles oasiens (MCD., 1992). En effet, cette espèce «constitue l'armature de l'écophytocénose des oasis, en créant un méso-climat favorable à la vie de l'homme, de ses cultures et de son cheptel, en lui permettant de se maintenir dans un milieu désertique difficile» (SKOURI, 1990).

La région des Zibans fait l'exception par ses productions dattiers et surtout les oasis de Tolga qui est la capitale de Deglet Nour.

Selon la carte de sensibilité à la désertification de la wilaya de Biskra établie par ASAL et DGF., 2010, notre zone d'étude se trouve dans la classe sensible à la désertification.

Pour permettre un développement durable et pour que l'écosystème reste équilibré dans la région, cette étude a comme objectif principal l'étude de la végétation en général et la palmeraie en particulier avec l'utilisation des nouvelles technologies d'investigation tel que la télédétection.

L'observation spatiale de par sa globalité, sa répétitivité et la cohérence de ses données est un outil adapté pour appréhender l'évolution des différents facteurs bioclimatiques influençant l'évolution de la végétation. Elle fournit des informations qualitatives et quantitatives sur la nature de l'occupation du sol de façon continue. Le traitement de ces données par des chaînes de traitements appropriés permet l'extraction de plusieurs paramètres biophysiques utiles pour les applications thématiques. Parmi ces paramètres les indices de végétation qui présente une grande efficacité dans la caractérisation et le suivi régulier des ressources naturelles.

Cet indice de végétation tiré de l'image satellitaire est retenu comme indicateur environnemental de développement durable par les nations unies.

Les besoins en gestion globale ou locale et la surveillance du milieu demandent des inventaires diachroniques et exhaustifs du milieu. La télédétection est une source d'information précieuse en cette matière puisqu'elle est l'une des seules qui puisse procurer actuellement des informations exhaustives et diachroniques à des coûts raisonnables et à des pas de temps très diversifiés (GIRARD M. C. et *al.*, 2005).

Les images que nous envoient les satellites d'observation de la terre sont une source capitale d'informations objectives, globales et actualisées. Elles permettent de collecter et mettre à jour les informations sur les ressources de la terre. Compte tenu de cet avantage, nous avons jugé utile d'entamer une approche cartographique à l'aide de l'outil télédétection comme support d'application en région aride (HADDOUCHE et *al.*, 2004), située au cœur des oasis des Zibans, en l'occurrence de la région de Tolga.

Le but de notre étude est :

- Utilisation de la télédétection dans la gestion des ressources naturelles et agricoles.
- montrer l'utilité et l'intérêt de la télédétection pour les statistiques agricoles.

Ce travail est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre a été consacré à la présentation de la région d'étude géographique, géologique, hydrogéologique, climatique et le couvert végétal, moyennant une actualisation des différentes données des précipitations et des températures et une carte d'occupation du sol.

Dans le deuxième chapitre on s'est intéressé au principe de télédétection et au traitement d'images avec la notion du changement de la végétation.

Le troisième chapitre à pour objet la méthodologie et l'application pour arriver à la carte des changements et la carte des palmeraies. Ce dernier englobe toutes les données et les connaissances récoltées lors des parties précédentes de l'étude, telles que les données géologiques climatiques et hydrogéologiques, de la végétation et de télédétection.

Dans le dernier chapitre, on exposera les résultats et leurs discussions et on arrive à la réalisation de la carte des changements et la carte des palmeraies et les renseignements qu'il apporte.

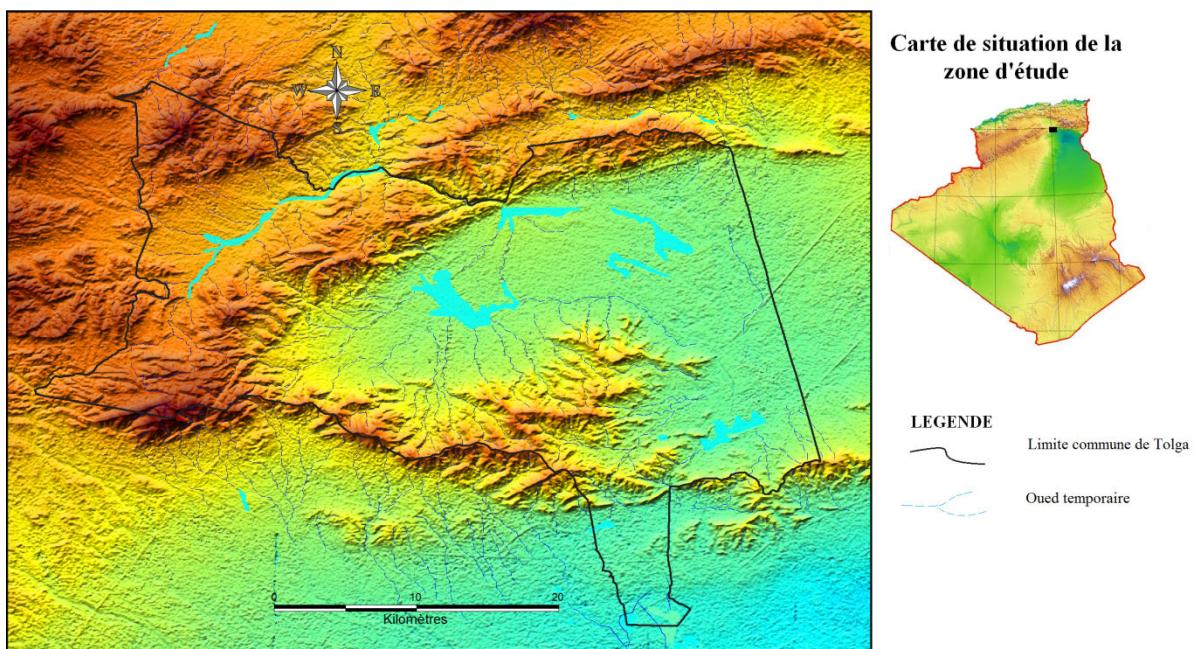
Chapitre 1: Présentation de la région d'étude

11-Situation géographique

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 22379.95 Km² avec une population de 758354 habitants (DPAT, 2010), la wilaya de Biskra est limitée par la wilaya de Batna au nord, la wilaya de M'sila au nord-ouest, la wilaya de Djelfa au sud-ouest, la wilaya d'Eloued au sud, la wilaya de Khenchra au nord et à l'est et la wilaya d'Ouargla au sud.

Elle se situe dans une zone semi-aride à semi-désertique (ANAT, 2003).

Elle comporte 12 dairas et 33 communes, parmi eux la commune de Tolga qui est la perle de la datte Deglet nour, se située entre 4°92' et 5°52' de latitude nord et entre 34°67' et 35°09' de longitude et est sur une superficie de 121400 hectares avec une population de 58000 habitants.



Carte1: Situation administrative de la commune de Tolga.

12-Etude du milieu

121- Relief

Selon l'ANAT, 2002 Le relief de la région de Biskra est constitué de quatre grands ensembles géographiques répartis comme suit :

122- Montagnes

Situées au nord de la région presque découverte de toutes végétations naturelles (Elkantara, Djemoura et M'chounech).

123- Plateaux

A l'ouest, ils s'étendent du nord au sud englobant presque la région des zibans occidentaux (Ouled Djellal, Sidi Khaled et une partie de Tolga).

124- Plaines :

Sur l'axe Eloutaya-Doucen, se développent vers l'est et couvrent la quasi-totalité des zibans orientaux (Eloutaya, Sidi Khaled, Zeribet Eloued et Doucen).

125- Dépressions

Dans la partie sud-est de la wilaya de Biskra (Chott Melghir et Chott Merouane).

126- Les formations sableuses

Selon l'importance des accumulations apportées sous l'effet du vent, les formations sableuses sont, par ordre d'importance, représentées : par des dunes, des microdunes, des nebkas et des voiles sableux. Se sont des accumulations de sables permettant l'installation et le développement d'espèces psamophytes.

Ces formations sont essentiellement développées en bordure du chott et montrent souvent une richesse particulière en gypse (KADI HANIFI, 1998).

13-Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la région de Biskra est présenté dans le tableau n°1, ci-dessous.

Tableau 1: Réseau hydrographique de la région de Biskra.

Désignation du bassin	Superficie (Ha)	Nom de l'oued principal	Principaux affluents
Bassin versant de l'oued l'Arabe	208500	Oued l'Arabe	Oued Mestaoua
Bassin versant de l'oued Labioud	24500	Oued Labioud	Oueds (Latrous et Elkatar)
Bassin versant de l'oued Djedai	216000	Oued Djedai	Oueds (Trifia, Boumlili, Tamda, Ouzen, Elhai, Branis)

Source : ANRH, 2000

14-Hydrogéologie de la région

Les ressources en eau souterraines dans la wilaya de Biskra sont représentées par les aquifères suivants :

141- Les nappes superficielles

Cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, et c'est au niveau des palmeraies qu'elles sont le mieux connu avec une profondeur entre 20 et 150m. Aussi peut atteindre 10 m de profondeur.

Les nappes les plus importants dans la wilaya, sont celle de l'oued Biskra et de l'oued Djedai. Leur alimentation est assurée par les précipitations atmosphériques, l'infiltration des eaux des oueds en période de crue et par les eaux d'irrigation.

142- Les nappes des sables

Constituée par une alternance de niveau d'argile, sable et cailloutis d'âge Mio-pliocène, elle couvre une grande superficie de la wilaya.

Cette est fortement exploitée dans la partie est de la wilaya et notamment dans la zone de M'ziraa.

Du point de vue hydrodynamique, cette nappe présente un système très hétérogène représenté par des couches de diverses perméabilités. La profondeur de cette nappe et de 100 à 300m.

A l'est de la wilaya de Biskra, cette nappe se subdivise en deux aquifères séparés par une épaisse couche d'argile sableuse, l'un profond désigné sous le nom du Pontien et l'autre moyennement profond qui est la nappe du Mio-pliocène connue dans cette région.

Le sens d'écoulement principal de la nappe des sables est vers la zone du Chott Melghir.

143- La nappe des calcaires

Cette nappe est constituée essentiellement de calcaire fissuré d'âge Eocène inférieur. Elle est la plus sollicité dans les palmeraies des Zibans, ou elle est appelée « nappe de Tolga ». La profondeur de cette nappe varie de 100 m dans la zone de Tolga à 500 m dans la zone de Lioua.

Au nord et au nord-est de la wilaya, la nappe de calcaire est représentée par un aquifère très important qui est le Maestrichtien et le Campanien d'une profondeur comprise entre 200 et 900 m.

144- La nappe du continental intercalaire

C'est un réservoir très important constitué essentiellement de grés et de marne d'âge Albien et Barrémien, d'une profondeur entre 1600 et 2500 m, la température de l'eau peut dépasser les 60°C.

15-Les différents types du sol

Généralement l'évolution des sols de la région est conditionnée surtout, par le climat et la salinité.

Les sols de la région de Biskra sont inventoriés dans les classes suivantes (ANAT, 2003) :

151- Sols peu évolués

Les Sols peu évolués soit de profil de type AC contenait plus de traces de matière organique dans les 20 premiers centimètres supérieurs. Une partie de cette matière organique peut être bien humifiée, le matériel est fragmenté même s'il est originellement dur et massif. La matière minérale n'a pas subi d'altération sensible, par contre elle a pu être désagrégée et fragmentée par des phénomènes physiques. Les sels minéraux y compris les carbonates et les sulfates, ainsi que les cations peuvent avoir subi des redistributions et des migrations.

152- Sols calcimagnésiques

Ces sols sont caractérisés par la présence dans l'ensemble du profil par l'influence dominante de carbonate de calcium de magnésium ou de sulfate de calcium. Ces sols sont de type AR ou A (B)R ou A(B)C. Dans ces sols la structure est généralement bien développée.

Ces sols sont le plus répandus dans la région, en effet les carbonates et les sulfates constituent un trait commun aux sols du domaine aride, auquel appartient la région de Biskra. Les sols à différenciation de carbonates occupent surtout les formations quaternaires longeant la chaîne atlasique. Dans la partie centrale de la wilaya, ils s'associent avec les accumulations gypseuses qui prennent de l'ampleur en allant vers le sud.

153- Sols halomorphes

Sont des sols de forte salinité, au tour de 8 mmhos/cm, texture très grossière, structure médiocre, consistance et cohésion faible, des sols calcaires et présentent une charge graveleuse de 20% dans les premiers horizons. La matière organique et les éléments fertilisants sont faibles à nuls.

Ces sols se retrouvent dans les dépressions, localisés surtout dans la région est, dans leur majorité à proximité du Chott Melghir, la zone nord des palmeraies d'Oumache, la zone de Selga et dans la plaine d'Eloutaya.

Ces sols sont subdivisés en deux sous groupes, à horizon superficiel friable et à encroûtement gypseux ou/et calcaire.

16-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 sec (OZENDA, 1991)

Le climat des régions arides est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température.

Pour voir les caractéristiques de notre région d'étude, nous avons recueilli les données climatiques de la station de Biskra.

161- Précipitations

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares (DUBIEF, 1953).

L'insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très remarquée du régime pluviométrique et d'une variabilité inter annuelle considérable, se qui accentue la sécheresse (OZENDA, 1991).

Tableau 2 : Moyenne mensuelle des précipitations de Biskra 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cumul
P (mm)	24,22	7,00	13,17	13,38	10,49	3,56	0,78	2,06	15,59	11,00	17,52	14,70	133,47

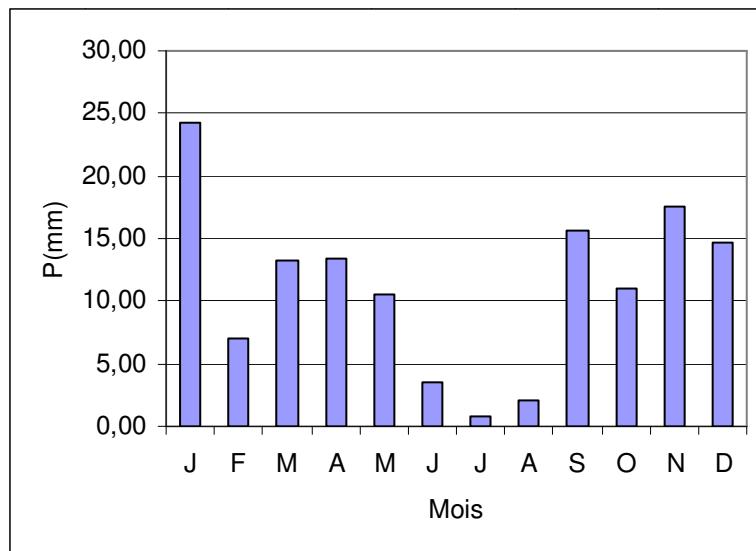


Figure 1: Précipitations moyennes mensuelles de Biskra 1999-2010.

1611-Précipitations mensuelles : l'analyse de la variation des moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1999-2009 (fig.1) montre une longue période de sécheresse qui atteint le zéro e juillet, avec un maximum de 29.06 en janvier.

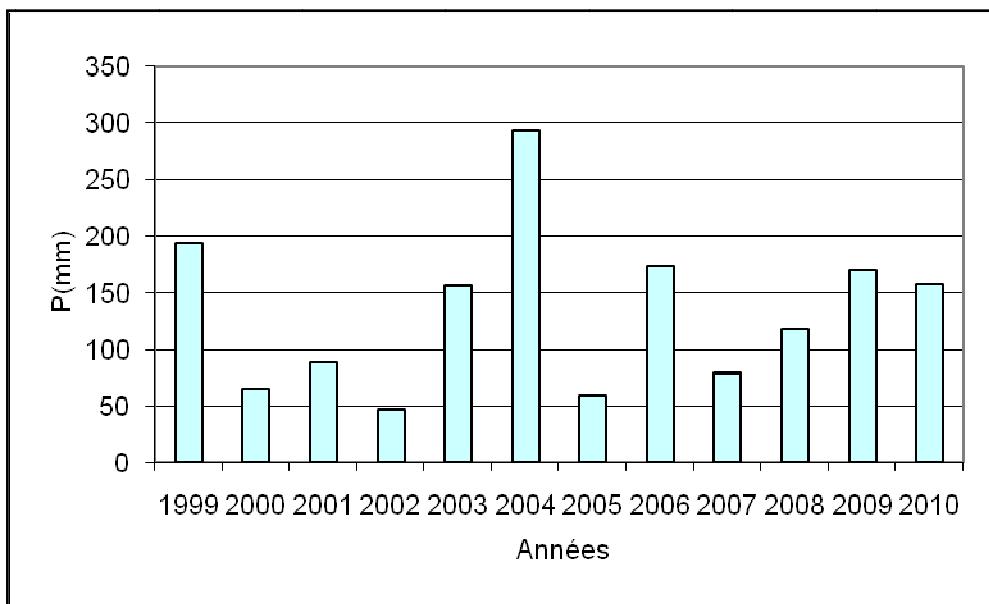


Figure 2:Variations internationales des précipitations de Biskra 1999-2010.

1612-Précipitations annuelles : la région de Biskra montre une pluviométrie faible et mal répartie. Ainsi, pour la période 1999-2009 (Fig.2). On constate une pluviométrie

moyenne annuelle de 131.2 mm, avec une valeur minimale de 47 mm en 2002 et avec un maximum de 294.1 mm en 2004.

L'analyse des variations moyennes mensuelles des précipitations ne montre aucune tendance particulière quant à un assèchement du climat ; néanmoins, elle révèle une variation très perçue des quantités de pluies au cours de l'année, dont dépend la vie des végétaux (HIRCHE, 1995).

A cet effet, il est d'usage de caractériser les régimes pluviométriques en fonction des saisons, pour une meilleure visualisation des variations saisonnières des précipitations.

1613-Régime des précipitations saisonnières

Il s'agit de calculer des quantités de pluie suivant les quatre saisons SADKI (1988) et qui sont en rapport avec la croissance de la végétation (DJELLOULI, 1981).

Hiver : Décembre, Janvier, Février.

Printemps : Mars, Avril, Mai.

Eté : Juin, Juillet, Août.

Automne : Septembre, Octobre, Novembre.

Tableau 3 : Précipitations (en mm) moyenne saisonnière de la période 1999-2010.

Saisons	Hiver			Printemps			Eté			Automne		
Mois	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
1999	104,3			13,9			9,4			65,4		
2010	19,81			54,1			27,44			56,64		

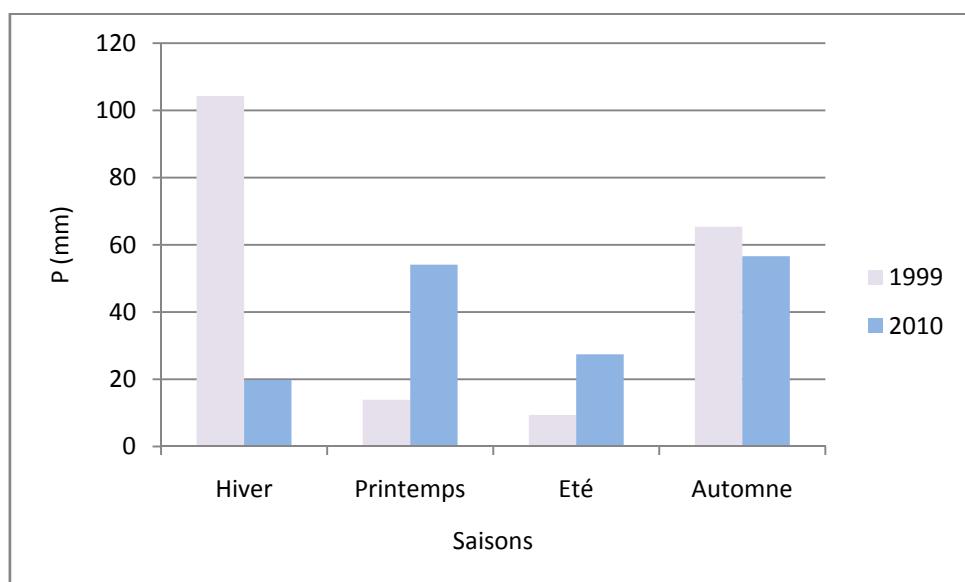


Figure 3:Variations saisonnières des précipitations de Biskra de l'année 1999 et l'année 2010.

162- Température

Les températures moyennes annuelles sont élevées, avec des maxima absolus pouvant atteindre et dépasser 42°C en juillet, et des minima de janvier variant de 4 à 8°C.

La synthèse des données de 10 ans des moyennes mensuelles des maxima et des minima de température est rapportée sur le Tableau 4.

Tableau 4: Moyenne mensuelle de la température de Biskra de 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
m	6.50	7.78	11.68	15.17	20.38	24.93	28.04	27.83	23.04	18.37	11.74	7.85
M	16.98	19.10	23.75	27.33	31.92	38.08	41.34	40.00	33.94	29.49	21.98	17.45
Moy	11.37	13.24	17.67	21.32	26.69	31.86	34.92	34.23	28.78	23.82	16.07	12.19

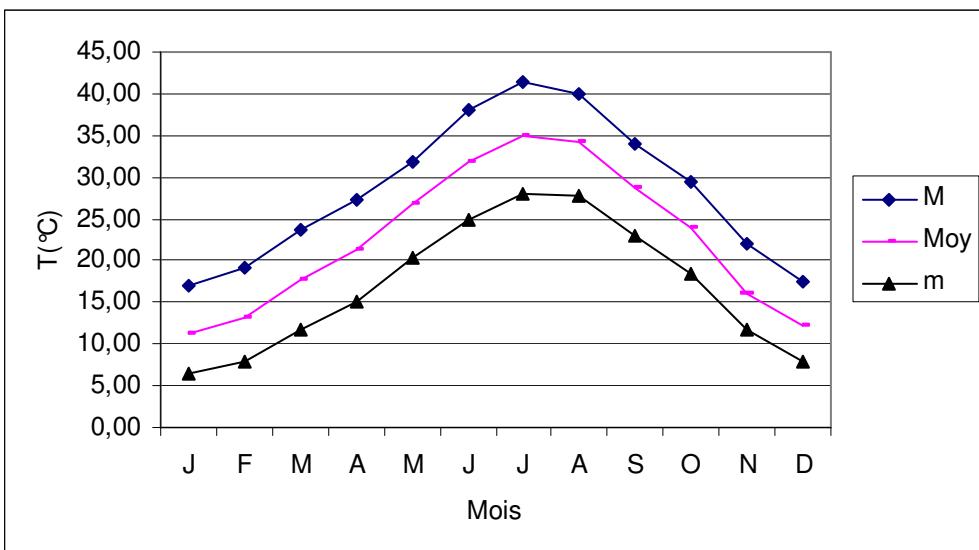


Figure 4: Températures moyennes, maximales et minimales de Biskra 1999-2010.

- Ecart thermiques

D'après DEBRACH (in ALCARAZ, 1982), on peut distinguer quatre types de climats :

- Climat insulaire : $M-m < 15^{\circ}\text{C}$
- Climat Littoral : $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$
- Climat semi – continental : $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$
- Climat continental : $M-m > 35^{\circ}\text{C}$

Après l'examen de nos données, nous remarquons que notre région à une amplitude thermique de ($M-m = 34.84^{\circ}\text{C}$) un **climat semi continental**.

163- Vent

Malgré les apparences, le Sahara n'est pas un pays venteux, mais un pays où, par suite de sa dénudation, on ressent le plus facilement le vent (DUBIEF, 1952).

Les effets du vent sont partout sensibles et se traduisent par le transport et l'accumulation du sable, le façonnement des dunes, la corrosion et le polissage des roches et surtout l'accentuation de l'évaporation (MONOD, 1992).

La synthèse des données de 10 ans des moyennes mensuelles de vitesse du vent est rapportée sur le Tableau 5.

Tableau 5: Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de Biskra de 1999-2009.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vitesse (m/s)	4.18	4.40	5.05	5.88	5.61	3.97	3.64	3.76	4.07	3.65	4.15	4.20

164- Humidité de l'air

L'humidité relative varie beaucoup dans l'année de 28.4% en juillet à 64.9% en janvier pour la période 1999-2009 comme indiqué dans le Tableau 6.

Tableau 6: moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra de 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
HR (%)	58.75	48.93	41.70	38.19	32.42	27.71	25.88	29.42	42.25	46.50	54.58	60.73

165- Insolation

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara (de 9 à 10 heures par jour) ce désert est avant tout le pays du soleil. Les durées d'insolation varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagé (DUBIEF, 1959). La synthèse des données de 10 ans montre les moyennes mensuelles de la durée d'insolation (tableau 7).

Tableau 7: Moyenne mensuelle de la durée d'insolation de Biskra de 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Insolation (heure)	232.73	249.18	280.64	290.45	321.27	346	356.18	330.64	266.09	254.91	226.91	210.18

166- Evapotranspiration

L'évapotranspiration englobe les phénomènes d'évaporation du sol et de transpiration des plantes, elle est influencée par l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de l'eau et de l'air, le rayonnement solaire, la pression atmosphérique et la nature du sol.

Aussi, c'est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et l'agitation de cet air (OZENDA, 1991).

L'évapotranspiration est fortement renforcée par le vent chaud (Sirocco), elle est de 2825.8mm dans notre région d'étude (tableau 8).

Tableau 8: Evapotranspiration potentielle de Biskra de 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	cumul
ETP (mm)	94	114.36	180	218.18	283.45	334.64	379	353.45	247.64	165.27	115.55	83.36	2568.91

17- Synthèse climatique**171- Diagramme Ombrathermique de GAUSSEN**

BAGNOULS et GAUSSEN (1953) définissent un mois sec comme étant " celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimé en degrés centigrades".

Le mode de représentation graphique de ces deux paramètres permet de déterminer et de localiser la période sèche.

172- Indice xérothermique d'EMBERGER

Comme le Q3 ne tient pas en compte de la xérite du climat, Emberger (1941), à caractériser l'intensité de la sécheresse estivale par l'indice $S = PE / M$ où PE représente la somme des précipitations moyennes estivales et M la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (GUYOT, 1999).

Un climat ne peut être réputé méditerranéen du point de vue phytogéographique que si $S < 7$ (Emberger, 1942).

Le seuil est fixé à $S < 5$ car entre 5 et 7, on inclut les zones étrangères à l'aire isoclimatique méditerranéenne.

Dans notre cas, $PE=36.84\text{mm}$ et $M=41.34^\circ\text{C}$ donc $S=0.89$. S est inférieur à 1, la durée de sécheresse dépasse la saison estivale calendaire, empiétant ainsi sur le Printemps et l'Automne.

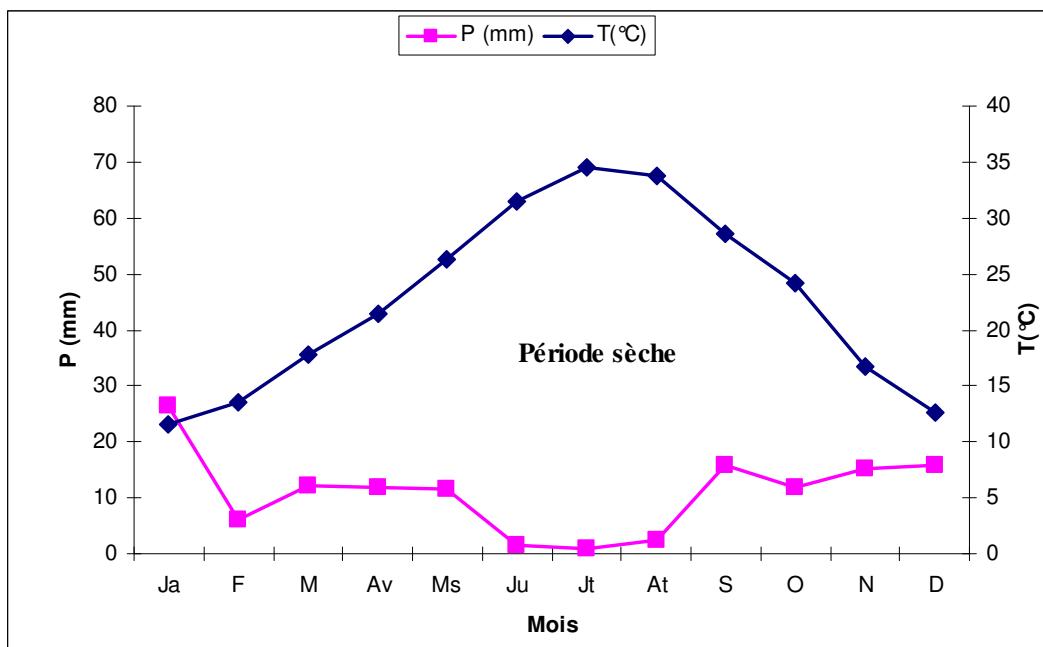


Figure 5: Diagramme ombrothermique de Gaußen de Biskra 1999-2010.

173- Aridité du climat

L'aridité est définie comme étant le nombre de mois où la pluviométrie moyenne est inférieure à deux fois la température ($^\circ\text{C}$) (GAUSSEN, 1961).

Dans notre région d'étude Biskra pour une période allant de 1999 à 2009 on compte toute l'année est sèche, de février jusqu'à décembre. (fig.5).

174- Climagramme pluviométrique d'EMBERGER

Quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q_3) spécifique au climat méditerranéen permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

Pour déterminer ce quotient nous avons utilisé la formule de STEWART (1969), adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_3 = 3.43 \times \frac{P}{M-m}$$

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima des mois les plus chauds.

m : moyenne des minima des mois les plus froids.

Pour notre région d'étude : **P** = 135.56 mm, **M** = 41.34 °C, **m** = 6.32 °C donc

$$Q_3 = 13.28$$

175- Type du climat

Le climagramme considère une région est plus sèche lorsque le quotient est plus petit.

Le calcul du quotient Q_3 et leur emplacement sur le climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique de la région d'étude qui se trouve dans le **saharien à hiver tempéré** (Fig.6).

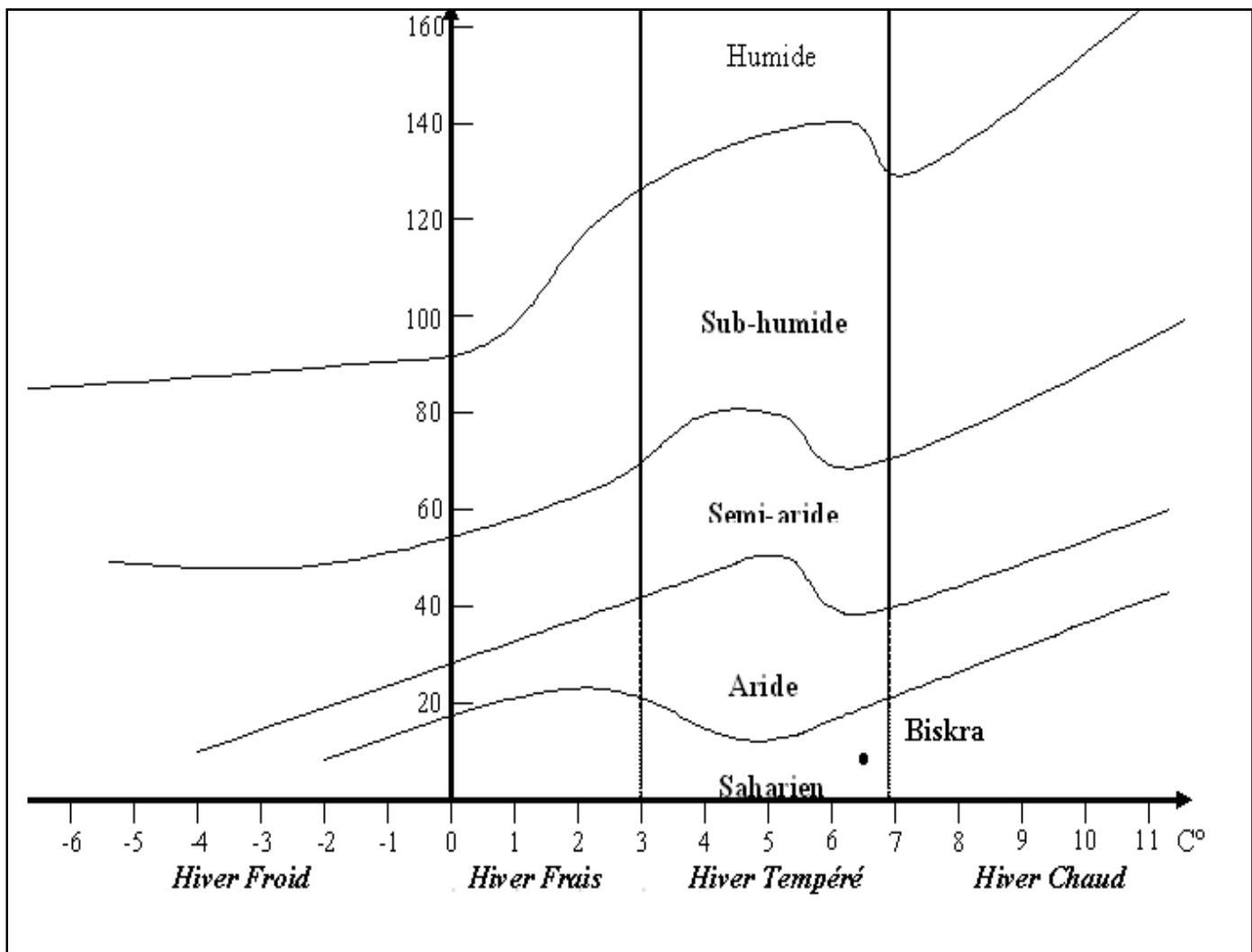


Figure 6: Climagramme d'Emberger de Biskra 1999-2010.

176- Indice d'aridité de De Martonne

Selon OZENDA (1982), l'indice est calculé avec la formule suivante :

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

I : Indice d'aridité de De Martonne

P : Pluviosité moyenne annuelle

T : Température moyenne annuelle

Selon PREVOST (1999), l'indice de De Martonne, on peut classer le climat à :

Climat très sec : **I < 10**

Climat sec : $I < 0$

Climat humide : $20 < I < 30$

Climat très humide : $I > 30$

Pour notre région d'étude : $P = 144.36$ mm, $T = 24.94^{\circ}\text{C}$, donc $I = 4.13$, le climat de la région d'étude est **très sec**.

18-Les phénomènes climatiques

Les phénomènes climatiques, sont des paramètres de courte durée ou événements persistant à caractère aléatoire. Ils peuvent être bénéfiques, comme le brouillard et la neige, comme ils peuvent être néfastes à la végétation comme le vent, l'orage, le sirocco, les tempêtes de sables. Ces derniers sont dits calamités climatiques (PERARNAUD et al., 1996).

Enregistrés chaque années par l'O.N.M, ces paramètres climatiques n'ont jamais fait l'objet d'une étude approfondie néanmoins, ils peuvent accélérer ou régresser les processus de désertification. Pour notre part nous avons essayé de mettre en évidence les variations mensuelles des différents paramètres susceptibles d'exercer un effet néfaste ou bénéfique sur la végétation.

181- Le sirocco

Il s'agit de vent chaud desséchant, toutefois, il contribue à l'augmentation du phénomène d'évapotranspiration, il apparaît pendant les mois les plus chauds de l'année, en effet, il est très fréquent pendant l'été.

182- Les tempêtes de sables

La fréquence des tempêtes de sable est en relation directe avec l'importance des vents qui parcourent la zone steppique au cours de l'année.

Selon DUBIEF (1959), un vent de sable est un vent turbulent de force quelconque soufflant au dessus d'une surface de quelques kilomètres carrés au moins, transportant des particules de sable en nombre et d'un diamètre tels qu'elles causent une gêne pour la vue d'un observateur debout et muni de lunettes de sable. Ce phénomène est très fréquent pendant la saison la plus chaude, en particulier aux mois de juillet et août.

19-Couvert végétal

Selon leur mode d'adaptation à la sécheresse, les plantes des régions arides peuvent être divisées en deux catégories :

-plantes éphémères, appelées encore « achebs », n'apparaissant qu'après la période de pluies et effectuant tout leur cycle végétatif avant que le sol ne soit desséché. La longueur de ce cycle est très variable d'une espèce à une autre et dure généralement de un à quatre mois (OZENDA, 1991 et CHEHMA, 2005). Ce sont des thérophytes dont les graines ont une dormance durable et un pouvoir germinatif qui peut être conservé pendant longtemps, (FAYE, 1997).

-plantes permanentes ou vivaces, où l'adaptation met ici en jeu, à côté de phénomènes encore mal connus, un ensemble d'adaptation morphologique et anatomique qui consistent surtout en un accroissement du système absorbant et une réduction de la surface évaporante. Elles ont la capacité de survivre en vie ralenti durant de longues périodes et sont dotées de mécanismes d'adsorption racinaire et de rétention d'eau performants, (OZENDA, 1991 et FAYE, 1997).

La végétation des zones arides, en particulier celle du Sahara, est très clairsemée, à aspect en général nu et désolé, les arbres sont aussi rares que dispersés et les herbes n'y apparaissent que pendant une période très brève de l'année, quand les conditions deviennent favorables, (UNESCO, 1960). Au Sahara, comme partout ailleurs, la végétation est le plus fidèle témoin du climat (GARDI, 1973). Par conséquent l'absence de végétation sur de grandes étendues est le caractère le plus simple du paysage saharien, le tapis végétal est discontinu et très irrégulier, les plantes utilisent surtout les emplacements où le ravitaillement en eau se trouve un peu moins défavorable qu'ailleurs (OZENDA, 1991). Ce sont souvent des plantes de petite taille.

Selon les études phytoécologiques effectuées par l'ASAL et DGF, 2010 ; HANAFI et CHAMMAH, 2010 et sur la base des observations sur terrain, notre zone d'étude est caractérisée par trois types de faciès :

- Les steppes à graminées : C'est des steppes à graminées pérennes, telles les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*), les steppes à sparte (*Lygeum spartum*).

- Les steppes halophiles : Les espèces dominantes comprennent beaucoup de *Salsolaceae*, telles que l'*Atriplex*, la *Salicornia*, la *Suaeda*, les tamaris (*Tamarix spp.*). Se trouve dans les sols salés.
- Les steppes à psamophytes : les espèces dominantes sont le Rtem (*Retama retam*). Se trouve autour du cordon dunaire de sable.

110- Occupation du sol

Dans la wilaya de Biskra les terres utilisées en agriculture 185450 hectares qui représentent 76.84% de la superficie totale de la wilaya, et dans la commune de Tolga les terres utilisées en agriculture sont de 4450 hectares qui représentent 77.72% de la superficie totale de la commune (tableau 9).

111- Population et socioéconomie

La population de la wilaya de Biskra a passée de 589697 habitant après le recensement de 1998 à 758354 habitants en 2009. Dont la commune de Tolga à passer de 44690 habitants après le recensement de 1998 à 58000 habitants en 2009.

Le palmier dattier qui est le moteur de la vie dans les oasis de Tolga, il a évolué de 1741.67 hectares en 1999 à 2462.50 hectares en 2010 à raison de 72.083 hectares par années.

Tolga est incontestablement le pôle agro-commercial le plus attractif et le plus dynamique sur toute la région du Zab Gharbi (DUBOST et al., 1998). Sa présentation peut éclairer sur les principales propriétés qui stimulent ou limitent le développement de toute la région d'étude.

En effet, la vitalité de cette commune découle d'un bon nombre de facteurs parmi lesquels on évoque :

- ✓ L'évolution très rapide de sa population.
- ✓ L'importance de son patrimoine phoenicicole (295090 palmiers) et la présence de la variété Deglet Nour (228580 palmiers) qu'est commercialement supérieure et universellement indiscutée.

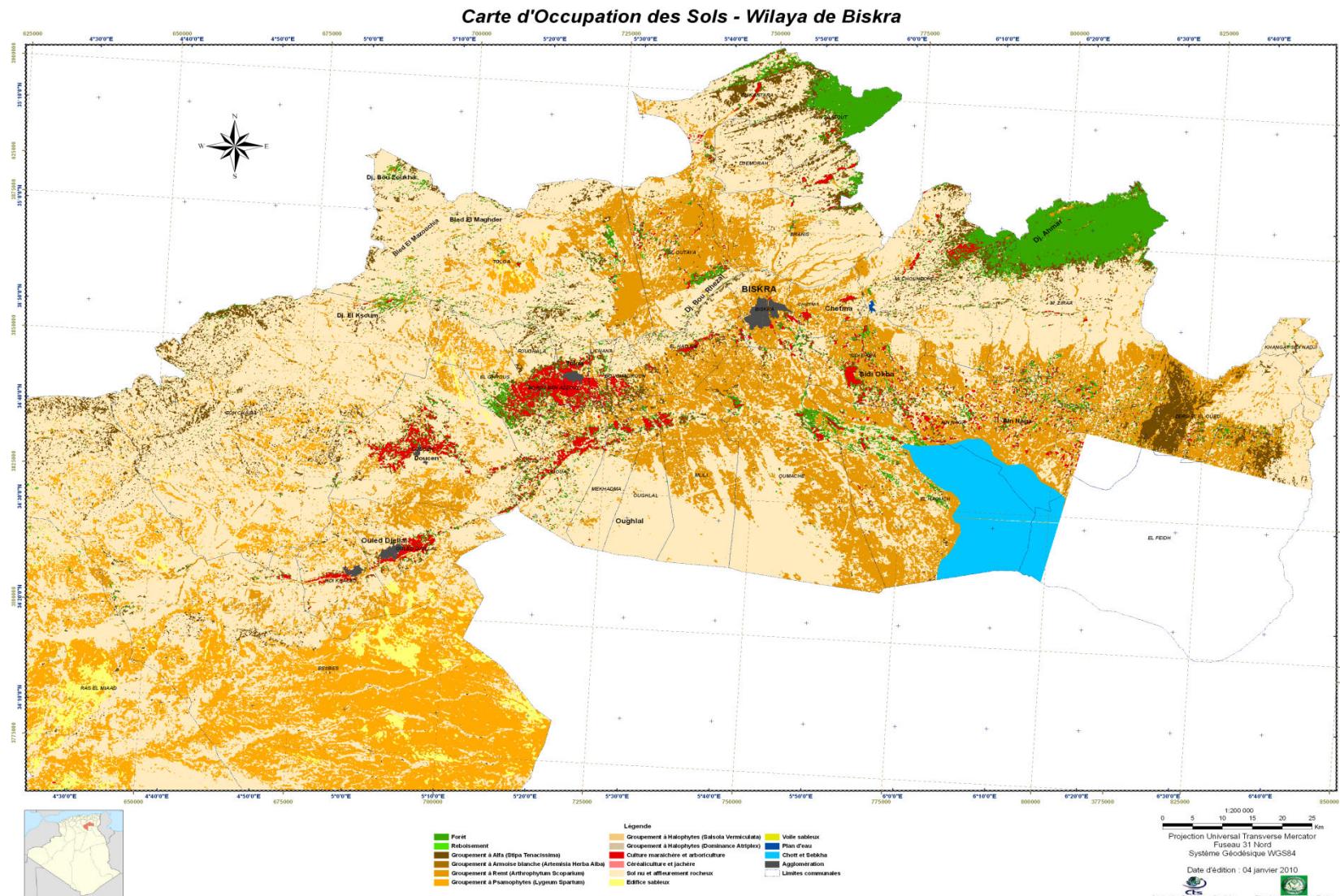
- ✓ Sa position géographique qui constitue un carrefour de travail obligatoire entre les Hauts plateaux et le Sud.

Population : Tolga est surpeuplée, sa densité démographique dépasse les 48 habitants/km² contre moins de 35 habitants/km² pour la wilaya, en effet sa population n'a pas cessé d'évoluer. Elle est passée de 20 500 habitants en 1977 à 29 857 en 1987 à 44 690 habitants en 2000 pour atteindre 58000 en 2009. Cette évolution est marquée par sa rapidité énorme.

Tableau 9: Affectation générale des terres de la wilaya de Biskra et la commune de Tolga.

	Wilaya de BISKRA		Commune de TOLGA	
Affectation de la terre	Superficie (Ha)	Taux (%)	Superficie (Ha)	Taux (%)
Superficie agricole utile (SAU)	185 450	11,23	4440	3.66
*Dont terres irriguées	108 389	58.45	3768	3.10
parcours	1 399 746	65,07	89830	73.98
Terres improductives	67 555	4,08	100	0.08
Total des terres utilisées en agriculture	1 652 751	76,84	94370	77.72
Forets	97 780	4,55	7051	5.81
alfa	13 864	0,64	0	0
Total forets	111 644	5,19	7051	5.81
Terres improductives et et non spécialisées à l'agriculture	386 585	17,97	20009	16.48
total	2150980	100	121430	100

Source :DSA, 2010



Carte 2: Carte d'occupation du sol de la wilaya de Biskra (ASAL et DGF, 2010)

Chapitre 2 : Notions fondamentales sur la télédétection

21- Télédétection

La connaissance détaillée dispose d'une sorte d'inventaire des phénomènes, analysés dans leurs aspects statistiques et dynamiques de changement dans le temps. Cet inventaire doit reposer sur des données objectives, homogènes et récentes pour être fiables, quelle que soit l'échelle du territoire concerné.

Pour réaliser cette analyse des phénomènes, il faut une description détaillée que l'on ne peut obtenir que par la photographie aérienne et l'Enregistrement provenant du satellite sont tous les deux des documents pris de loin et tous les deux rentrent dans la notion de télédétection, en sachant que la première photographie aérienne de PARIS, en 1858 fut le point de départ de toute une dynamique qui jettera les bases de la télédétection contemporaine, elle a été appliquée pour la première fois dans l'étude de la végétation et la détection des maladies des plantes, mais maintenant elle intervenus dans des différents domaines (L'aménagement, l'urbanisme, transport ...).

211- Définitions

Plusieurs définitions de la télédétection sont proposées :

" 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"(Journal Officiel de la République Française du 11 décembre 1980) d'après GIRARD, 1999.

"La télédétection est une technique qui permet de détecter à distance, sous forme de photographies, d'enregistrement donnant lieu à des images, ou de profils, les variations d'absorption, de réflexion et d'émission des ondes électromagnétique " (SCANVIC Y., 1983).

« La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un

rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. » (SOUUDANI K., 2005).

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

212- Apport de la télédétection

On peut résumer l'apport de la télédétection comme suit :

- Les données de télédétection sont homogènes et continues sur de grandes surfaces ;
- Elle offre une vision riche d'informations (multispectrale);
- Elle permet d'accéder à des zones dites « inaccessible» pour des questions de topographie, de climat et de catastrophes naturelles ;
- Acquisitions de données en temps voulu ;
- Elle autorise des observations très rapprochées dans le temps d'un même endroit;
- Les images sont sous forme numérique, ce qui facilite considérablement leur intégration dans les bases de données des SIG ;
- Les programmes satellitaires sont maintenant suffisamment nombreux et fiables pour garantir aux utilisateurs une constitué dans la fourniture d'images.

❖ Les données de télédétection

Les données de télédétection sont le plus souvent fournies en format d'images numériques. L'image correspond à une matrice de pixels. La taille du pixel correspond à la résolution spatiale et son contenu correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi ou émis. Cette intensité est exprimée en niveaux de gris. Pour chaque bande spectrale correspond une image résultante (SOUUDANI K., 2005).

Et aussi l'image satellitaire :

Les informations acquises par télédétection spatiale sont restituées sous forme d'images ou l'unité de résolution est de pixel. Ce dernier est défini comme étant « la

plus petite surface homogène enregistrée de la maille d'échantillonnage » (ROBIN, 1998).

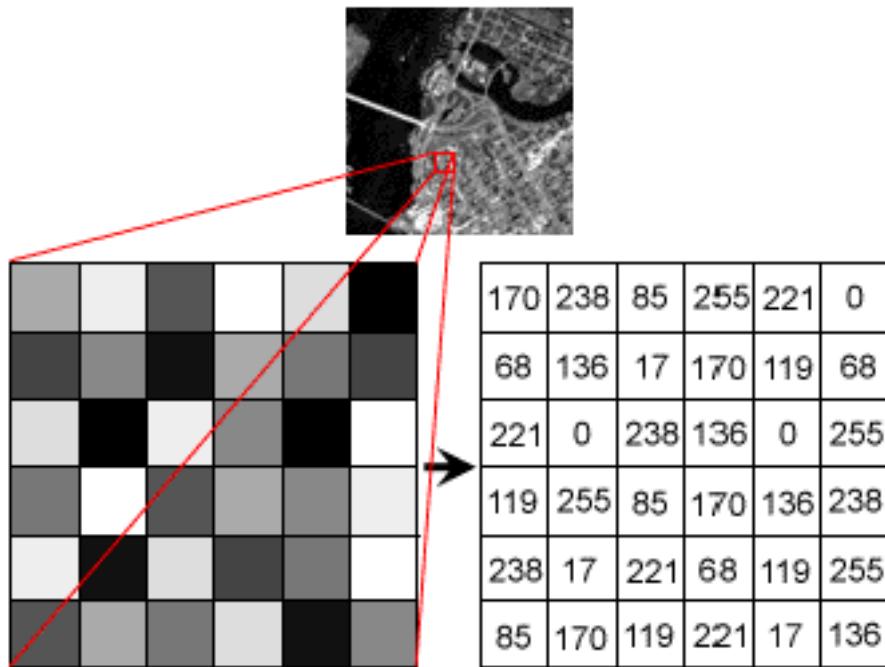


Figure 7: Image satellite (CCT, 2005).

213- Etapes du processus de la télédétection

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes que nous élaborons ci-après(CCT, 2005) (fig.8) :

- A- Rayonnement et atmosphère : 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.
- B- Interaction avec la cible : une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci la nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
- C- Enregistrement de l'énergie par le capteur : une fois l'énergie est diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

D- Transmission, réception et traitement : 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).

E- Interprétation et analyse : une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est en suite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

F- Application : 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.

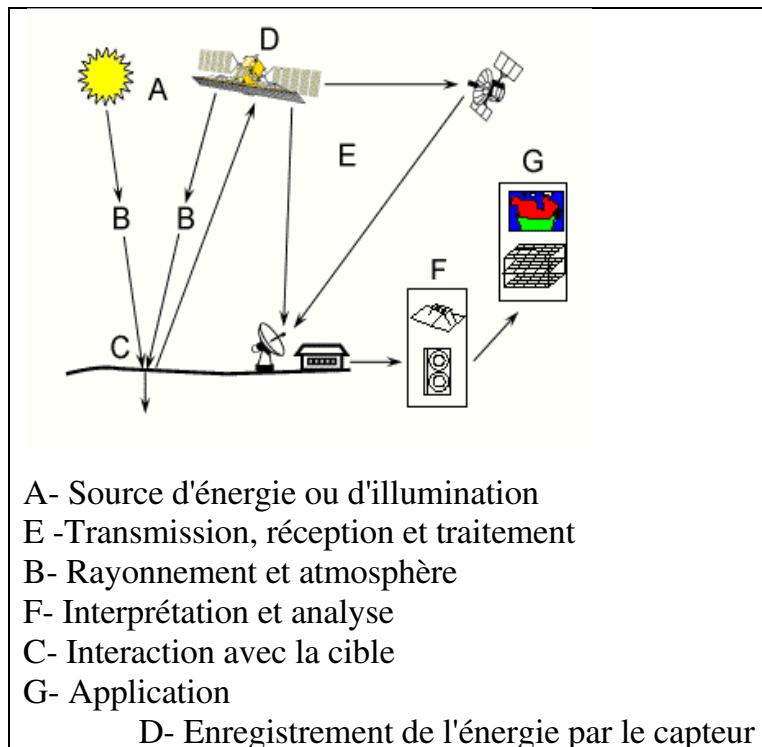


Figure 8:Les étapes du processus de la télédétection (CCT, 2005).

214- Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique présente toutes les gammes d'ondes (Fig.10) depuis les plus petites longueurs d'onde (fréquence très élevée) jusqu'aux plus grandes (fréquence très basse).

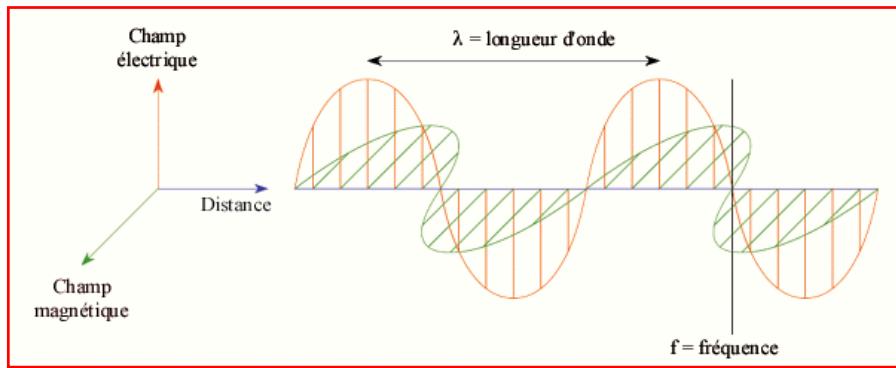


Figure 9:Onde électromagnétique (LILLESAND et KIEFFER, 1987).

Les ondes les plus utilisées en télédétection sont :

➤ **Le visible, rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres:**

La partie visible du spectre va du $0,38\mu\text{m}$ à $0,78\mu\text{m}$, toutes les couleurs de arc-en-ciel du violet (proche de $0,38\mu\text{m}$) jusqu'au rouge (environ $0,65\mu\text{m}$) en passant par le bleu ($0,45\mu\text{m}$) et le vert ($0,55\mu\text{m}$), la plupart des satellites d'observation de la terre ont des capteurs enregistrant dans cette partie du spectre.

➤ **Le proche infrarouge, rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres :**

Centré sur environ $0,9\mu\text{m}$, est très utilisé pour l'étude de la végétation et la détection de l'eau.

➤ **Le moyen infrarouge, rayonnement à la fois réfléchi et émis par les surfaces terrestres :**

Centré sur environ $3\mu\text{m}$, est un peu moins utilisé et sert à la détection de l'eau dans les plantes, la détection de la neige et de la glace, l'évaluation de l'humidité du sol.

➤ **L'infrarouge thermique, émis par les surfaces terrestres :**

De 8 à 12 μm est très utilisé en météorologie et climatologie.

➤ **Le domaine des hyperfréquences, émis par une antenne et renvoyées par la surface terrestre pour les hyperfréquences actives et émises par les surfaces terrestres pour les hyperfréquences passives :**

Est compris entre 2 et 30cm de longueur d'onde. Elles sont de plus en plus utilisées, océanographie et en agriculture (CCT, 2005).

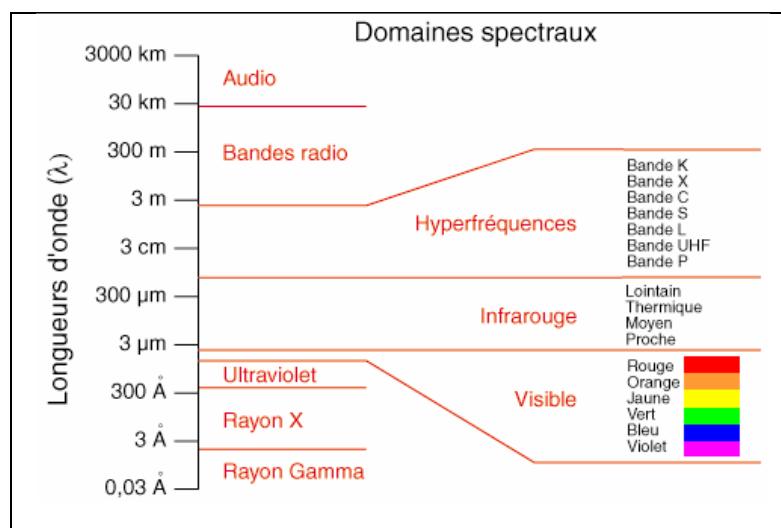


Figure 10: Spectre électromagnétique et les systèmes de télédétection (LILLESAND et KIEFFER, 1987).

Réponse du milieu observé

Le milieu observé interagit avec le rayonnement incident et donne une réponse liée à des mécanismes tels que: l'émission propre, la réflexion, la diffusion et l'absorption, caractérisant ainsi la surface et l'intérieur du milieu observé (contenu en eau, rugosité...).

L'absorption se produit lorsque l'énergie du rayonnement est absorbée par la cible, la transmission lorsque l'énergie du rayonnement passe à travers la cible et la réflexion

lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement (MASSON et RANNOU, 2002).

La réflexion : Les rayonnements peuvent être réfléchis et renvoyés vers l'Espace (Fig.10). Le plus souvent, il s'agit alors d'une réflexion diffuse, qui s'effectue dans toutes les n'est pas réfléchie est absorbée. La réflectance est le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie reçue.

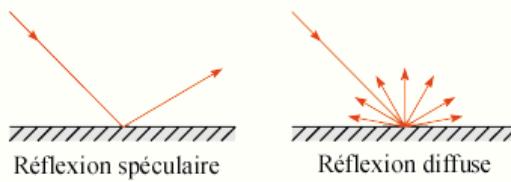


Figure 11: Les types de réflexion (BONN et al., 1992).

L'absorption: Elle traduit l'aptitude d'un corps à ne pas réfléchir les rayonnements reçus. Un corps qui absorbe a tendance à s'échauffer. Cette énergie absorbée est transformée en température qui produit une émission de rayonnement électromagnétique (absorption = émission). L'absorptance est définie comme le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue (Fig.11).

Transmission : ou transmittance est le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie reçue.

L'énergie reçue (E_r) par un objet est décomposée en trois énergie : réfléchie (R), transmise (t) et absorbée (a). Ainsi on a :

$$E_r = r + t + a \quad \text{et la réflectance} = r/E_r$$

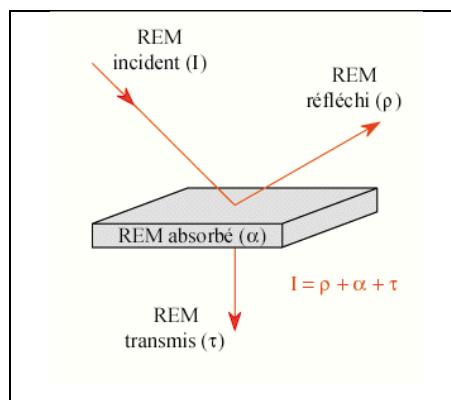


Figure 12: Absorption, réflexion et transmission (BONN et al., 1992).

215- Satellites d'observation de la terre

La naissance des satellites s'échelonne d'avril 1960 (lancement de 'Transit 1', premier engin spatial pour la navigation) et juillet 1962 ('Telstar', premier satellite de communication), juillet 1972 ('Landsat 1, le premier satellite opérationnel d'observation de la terre), et au milieu des années 80 avec ceux de Landsat 4 et 5 et de Spot. Qui sont les vecteurs les plus courants transportant des capteurs.

Tableau 10 :L'historique des satellites LANDSAT.

Satellite	Date de lancement	Altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs, canaux et résolution spatiale
Landsat 1	juillet 1972	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 2	Janvier 1975	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 3	mars 1978	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m)
Landsat 4	juillet 1982	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 5	Janvier 1984	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 6	oct. 1993	Détruit après lancement			
Landsat 7	avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM + (7 canaux, 30 m, plus canal panchro, 15 m)

Source : NASA, 2007

2151- Plate – forme

Le terme plate-forme s'applique à tout véhicule spatial, aérien ou terrestre capable de porter un capteur.

Appelée aussi vecteur à tout objet se déplaçant et susceptible de porter un capteur, on peut donc définir divers types de vecteurs :

- Ceux qui opèrent à quelques mètres du sol : grue, ou véhicules qui supportent des radiomètres ou appareils photographiques.
- Ceux qui opèrent entre la dizaine de mètres et la dizaine de kilomètres : avion, ballon, hélicoptère.
- Ceux qui opèrent entre la dizaine et la centaine de kilomètres : les ballons stratosphériques.
- Ceux qui opèrent entre 200 et 40000 km : ce sont les satellites soumis à l'attraction terrestre.

2152- Composantes du satellite

Un satellite artificiel se compose de (CCT, 2005) :

1. Un système de maintien de l'altitude, constamment perturbé par l'attraction de la terre, les frottements de l'atmosphère, la pression des radiations solaires.
2. Un système de commande d'altitude pour orienter l'axe de prise de vue vers la terre et empêcher le satellite d'osciller là encore les corrections sont faites avec des jets du gaz.
3. Un système producteur d'énergie : les panneaux solaires qui produisent l'électricité nécessaire.
4. Un système de contrôle des opérations à bord et des communications avec la station au sol.
5. Des antennes radio pour la liaison avec le sol.
6. La charge utile : le capteur avec son système optique et son radiomètre.
7. Un système de stockage provisoire des informations que l'on peut lire lorsque le satellite entre dans la zone de réception de la station au sol.

2153- Capteur

En télédétection, les capteurs sont les équipements placés à bord satellites qui permettent de mesurer des objets étudiés dans une bande donnée de longueur d'onde.

Donc le capteur (imageur) est un instrument recueille le rayonnement électromagnétique en provenance de l'objet et le transforme en un signal numérique, il fournit des données organisées en lignes et en colonnes permettant de reconstituer une image en 02 dimensions de l'objet.

On distingue deux types de capteurs (Fig.13) :

1. **Le capteur actif** : capteur comprenant à la fois un émetteur et un récepteur du rayonnement électromagnétique, de façon à observer l'objet indépendamment d'une source de rayonnement naturel exemple : RADAR, LIDAR (*Light Detection And Ranging*)....etc.
2. **Le capteur passif** : capteur qui recueille le rayonnement d'origine naturelle en provenance de l'objet, dans une ou plusieurs bandes spectrales exemple : (radiomètres, caméras). l'émetteur principal étant le plus souvent le soleil.

D'après (GIRARD, 1999) chaque capteur est caractérisé par :

- Sa résolution spatiale c'est à dire la dimension et des quantités d'observation de pixel.
- Sa résolution spectrale c'est à dire la finesse de séparation des longueurs d'onde proches.
- Sa résolution radiométrique, qui consiste en la distinction de quantité d'énergie captée, sa limite étant la plus petite variation d'énergie décelable.

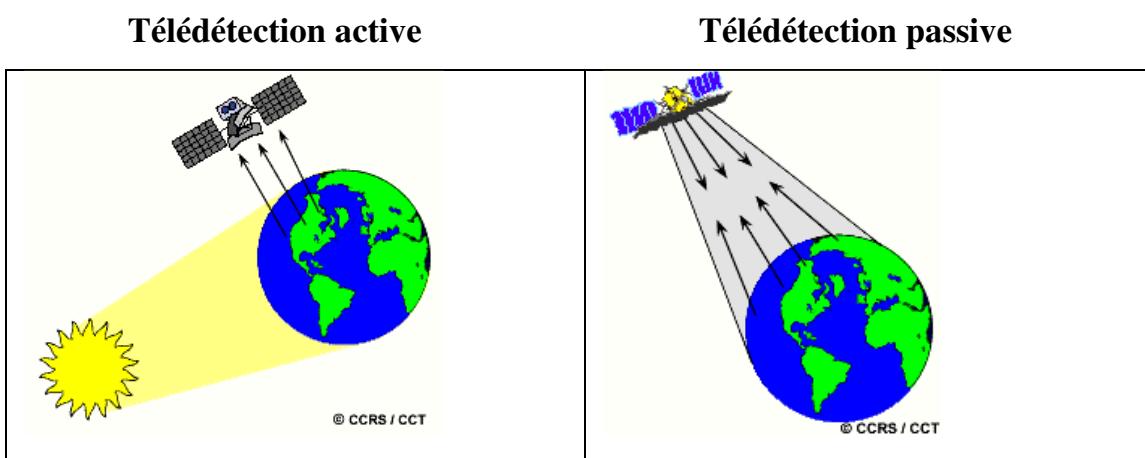


Figure 13: Télédétection active et télédétection passive (CCRS/CCT).

2154- Orbite des satellites

On note que les satellites pendant leurs rotations, ils décrivent des orbites qui influent sur leurs facultés d'observation, on distingue trois types d'orbite :

- **L'orbite circulaire**

Le satellite tourne autour de la terre à une même altitude. La vitesse minimale du satellite à l'altitude de 200 km est 7.77 km/s et la périodicité de l'ordre de 1h30.

Les satellites TIROS, NOAA et ERS-1 ont des orbites circulaires.

- **L'orbite géostationnaire**

Le satellite reste fixe au dessus d'un point de la terre. Pour cela, il doit avoir une vitesse angulaire égale à celle de la rotation de la terre et décrire dans le même sens une orbite circulaire dans plan équatorial, avec un rayon de l'orbite : 42164 km soit 35786 km au dessus de l'équateur, et vitesse 3.07 km/s.

Les satellites : METEOSAT (France), GOES (Etats- Unis), GMS (Japon), et INSAT (Inde) ont des orbites géostationnaires.

- **L'orbite héliosynchrone**

Le satellite passe toujours à la même heure solaire locale en un même point de la terre.

Il faut donc que le plan orbital du satellite reste fixe par rapport au plan orbital de la terre autour du soleil. Ce qui revient à la ligne des nœuds fasse un angle constant avec la droite des centres de la terre et du soleil.

Les satellites NIMBUS, LANDSAT (Américain) et SPOT (France) ont des orbites héliosynchrones.

Donc on distingue les satellites à défilement (avec des orbites circulaires quelconques ou héliosynchrones), des satellites géostationnaires.

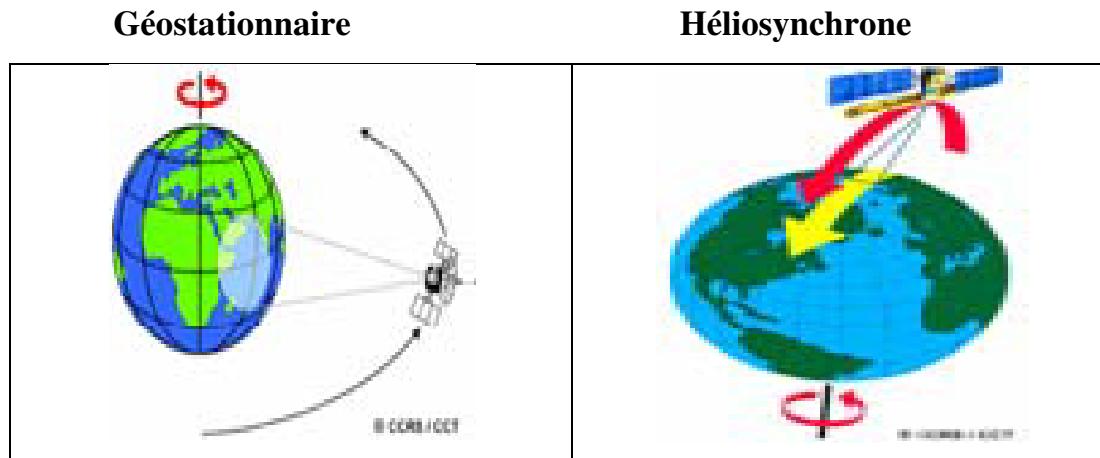


Figure 14: Télédétection active et télédétection passive (CCRS/CCT).

2155- Satellites d'observation de la terre

Parmi les satellites qui nous intéressent (LANDSAT, SPOT) pour l'observation des ressources terrestres, (METEOSAT, NOAA) dont le but est l'environnement et la météorologie.

Le tableau 10, montre les caractéristiques des principaux satellites.

Tableau 11: Caractéristiques des principaux systèmes satellitaires d'observation de la terre dans les bandes du visible et du proche infrarouge.

Caractéristiques du système	LANDSAT MSS	LANDSAT ETM+	SPOT	METEOSAT	NOAA-AVHRR
<u>Orbites:</u> Type d'orbite	Sub-Polaire Héliosynchrone	Sub-Polaire Héliosynchrone	Sub-Polaire Héliosynchrone	Géostationnaire	Circulaire
Altitude (km) répétitivité	705 16jours	705 16 jours	830 26(ou 1ou 5) jours	35800 25 min	850 12 h
<u>Capteurs:</u> Balayage	Miroir oscillant	Miroir oscillant	Barrettes CCD	Rotation du satellite	Miroir tournant
Résolution spatiale	56x79m	30m	10m(pan) ; 20m(S)	2.5 km (S1) 5 km(S2, S3)	1.1ou4km
Bande spectrales(μm) S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 panchromatique					
	0.5-0.6	0.45-0.52	0.50-0.59	0.4-1.1	0.58-0.68
	0.6-0.7	0.52-0.60	0.61-0.68	5.7-7.1	0.72-1.1
	0.7-0.8	0.63-0.69	0.79-0.89	10.5-12.5	3.55-3.93
	0.8-0.9	0.76-0.90			10.3-11.3
		1.55-1.75			11.5-12.5
		10.4-12.5			
		2.0-2.35	0.51-0.73		
Dimensions de la scène (km)	185	185	60	Le globe	2400

Source : GIRARD M. C., 1999

216- Traitements des données de télédétection

Les fonctions de traitement des images communément disponibles en analyse d'images en quatre catégories :

- 1- Prétraitement :
- Corrections radiométriques
- Corrections géométriques

2- Traitement :

- Rehaussement de l'image
- Transformation de l'image
- Classification et analyse de l'image

On appelle fonctions de **prétraitement** les opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en **corrections radiométriques** et en **corrections géométriques**.

Les fonctions de rehaussement ont pour but d'améliorer l'apparence de l'imagerie pour l'interprétation et l'analyse visuelles. Les fonctions de rehaussement permettent **l'étirement des contrastes** pour augmenter la distinction des tons entre les différents éléments d'une scène, et le **filtrage spatial** pour rehausser (ou éliminer) les patrons spatiaux spécifiques une image.

2161- Prétraitement

A- Corrections radiométriques

Elles permettent de diminuer les perturbations dues à l'atmosphère et aux capteurs.

Deux images d'une même région, acquises à des différentes dates peuvent avoir des valeurs numériques différentes ; ceci est du à des différences dans l'élévation solaire qui dépend de la saison et de l'année ou à des différences de transmission et d'absorption de l'atmosphère ou encore à des changements dans l'occupation du sol de la région étudiée. Ce dernier facteur fait l'objet des études dites "multidates" (LEG G., 1992).

La correction radiométrique pour compenser la différence de l'élévation solaire entre différentes dates et la différence dans le calibrage du capteur, est importante pour la détection des changements (LEG G., 1992).

Les satellites d'observation de la terre passent sur chaque point de la terre à la même heure solaire. L'élévation solaire et l'azimut du temps d'acquisition sont

normalement enregistrés à l'entête de l'image numérique et il est relativement simple d'ajuster les valeurs numériques d'une série d'images à une élévation solaire constante de telle sorte que les images apparaissent comme étant acquise au même moment de l'année (LEG G., 1992).

Ces traitements sont réalisés de manière générale en amont de l'utilisation finale.

B- Corrections géométriques

Elles sont destinées à corriger l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de sol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte.

Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'altitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu (UTM ou Lambert par exemple). Les lois de déformation sont calculées de point particulier, encore appelés amers, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (DESHAYES M. et MAUREL P., 1990).

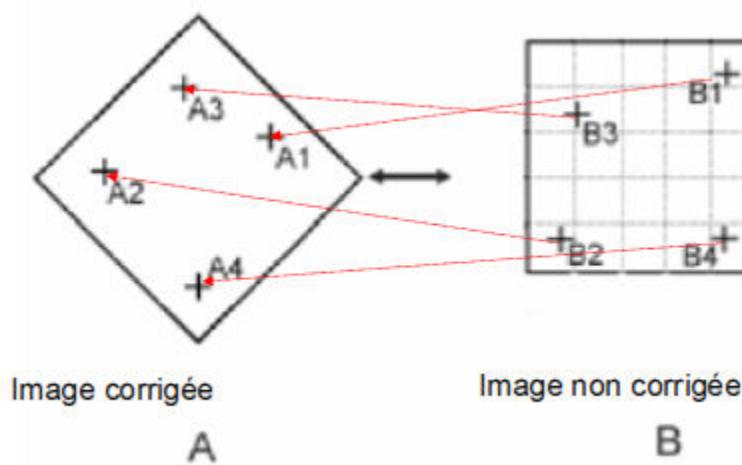


Figure 15: Principe de correction géométrique, corrections par points d'amers ou de contrôle.

C- Géoréférencement de l'image

Il consiste à rectifier l'image satellite de manière à la rendre superposable à une autre image ou à un document cartographique de référence (SHLIEN, 1997).

2162- Traitement

2161- Rehaussement de l'image

Une image de bonne qualité est celle dont les apparences permettent à notre système visuel d'identifier le maximum d'informations. La qualité visuelle de l'image joue un rôle prépondérant, cette qualité se réfère aux propriétés de notre système visuel : séparabilité des tons de gris, perception relative des couleurs. (Ce processus se fait généralement après la réalisation de procédés de prétraitement pour la finalité de représentation graphique ou interprétation visuelle des images numériques).

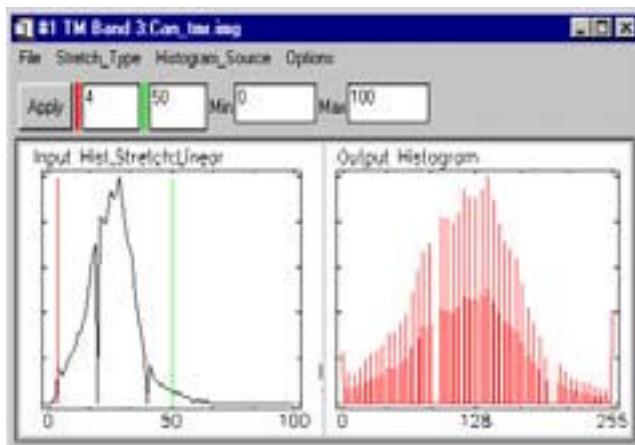
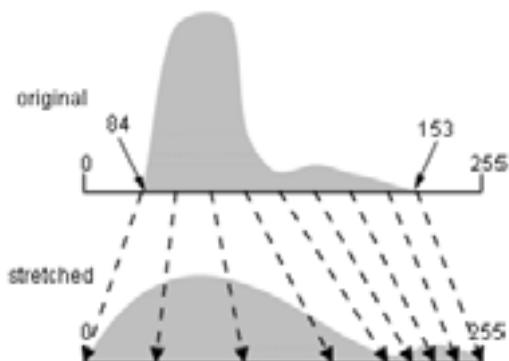
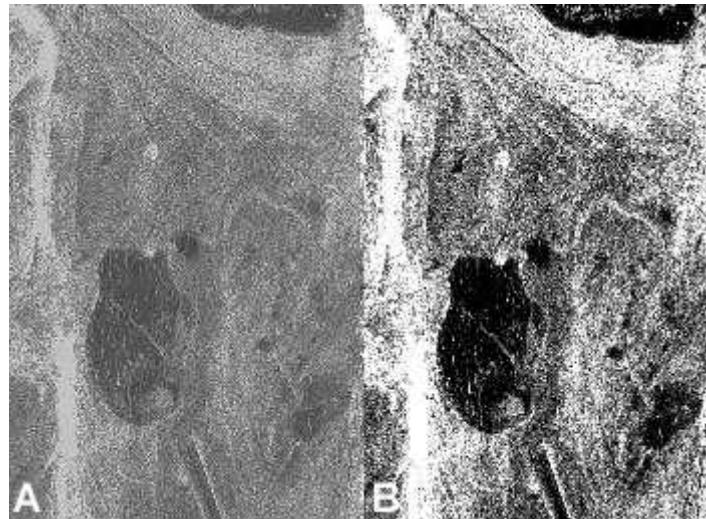


Figure 16: Rehaussement des images: amélioration de la qualité visuelle de l'image afin de faciliter son interprétation.

L'étude de rehaussement est abordée en étapes parmi celles : les transformations simples, telles que l'agrandissement ou la réduction de la taille de l'image, les transformations qualifiées de globales s'appuyant sur les anamorphoses d'histogramme, les applications des filtrages spatiaux et fréquentiels, traitements des méthodes de fusion d'images.



A - Image brute

B - Image rehaussée

Figure 17: Rehaussement de l'image (CCT, 2005).

2162- Les transformations d'images

Sont des opérations similaires à ceux de rehaussement l'image. Cependant, alors que le rehaussement de l'image qui est normalement appliqué une seule bande de données à la fois, la transformation de l'image combine le traitement données de plusieurs bandes spectrales. Des opérations arithmétiques (c'est-à-dire addition, soustraction, multiplication, division) sont faites pour combiner et transformer les bandes originales en de "nouvelles" images qui montrent plus clairement certains éléments de la scène. Nous allons examiner certaines de ces opérations incluant les diverses méthodes **rapport de bande** aussi appelé **rapport spectral** et un procédé appelé **analyse des composantes principales** qui est utilisée pour mieux représenter l'information en imagerie multispectrale (CCT, 2005).

Les transformations des images se reflètent aux techniques de manipulation des images brutes entre elle pour produire d'autres images dérivées utiles à un objectif donné (GAOUAS, 2003).

2163- Classification de l'image satellitaire

La classification d'une image de télédétection consiste à en une reconnaissance automatique des reflectances. Elle permet d'identifier et de regrouper les pixels similaires d'une image dans une classe. Cette similarité peut être déterminée par rapport à la signature spectrale ou à la proximité spatiale (DOS SANTOS, 2001).

Les techniques de classification utilisent les propriétés spectrales et parfois spatiales de l'image pour segmenter l'image en classes homogènes de type de couvertures de sol.

L'œil humain utilise la couleur, la texture, forme, taille, patron, ombre et le contexte pour identifier les différents types de couverture du sol.

La plupart des classifications opèrent sur la base de la couleur, seulement dans le sens où elles opèrent sur des valeurs individuelles de chaque pixel dans chaque longueur d'onde.

Il s'agit du procédé le plus utilisé en télédétection. Il consiste à regrouper des ensembles de pixels similaires en classes. On peut se base simplement sur les valeurs radiométriques des

Pixels ou intégrer également les relations de voisinage entre pixels.

Dans le cas de classification basée sur les radiométries, on rappelle qu'une image satellite peut être représentée à n dimensions. Chaque pixel a un point représentatif dans cet espace des radiométries et une image constitue donc un nuage de points, donc le but de cette opération consiste à réaliser le découpage optimal de nuage de points, sur lequel on peut appliquer divers traitements.

Les méthodes de classification se divisent en deux grands groupes :

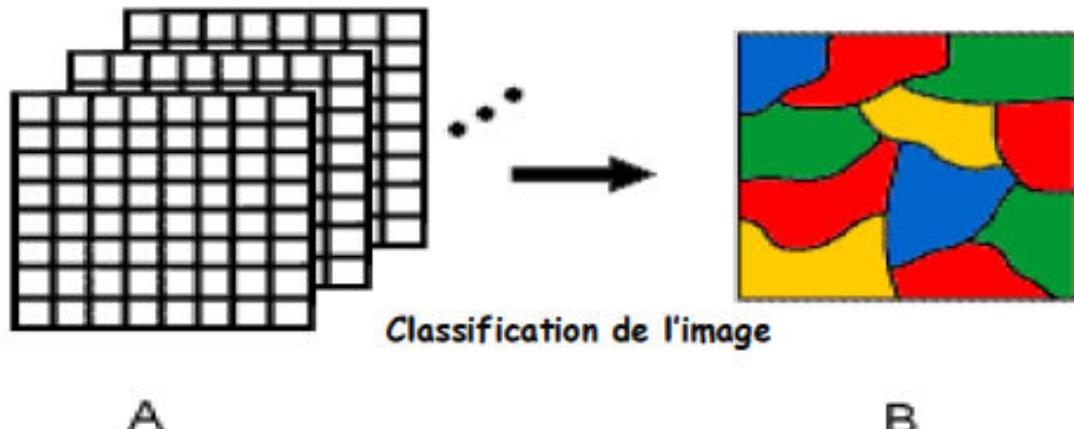


Figure 18: Classification de l'image.

Deux approches générales qui sont souvent utilisées, soit la classification **supervisée** et la classification **non supervisée**.

A- La classification non supervisée (non dirigée)

Elle est effectuée sans prise en compte de données d'étalonnage sur le terrain ou bien dans le cas on ne dispose pas d'information a priori sur la zone. Il s'agit d'un découpage entièrement mathématique de l'espace radiométrique en un nombre de classe défini par l'utilisateur au départ. Le thématicien intervient ensuite pour donner un nom à chacune des classes obtenues

Cette technique est intéressante dans les cas où il est impossible de rendre sur le terrain.

B- La classification supervisée (dirigée)

On identifie sur l'image des surfaces assez homogènes représentatives des thèmes qu'on souhaite discriminer. Les signatures spectrales de ces surfaces serviront comme références pour classer l'ensemble de l'image en utilisant des algorithmes de classification appropriés.

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un **ensemble de données-tests**. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes. Plusieurs algorithmes différents sont possibles. Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités. Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.

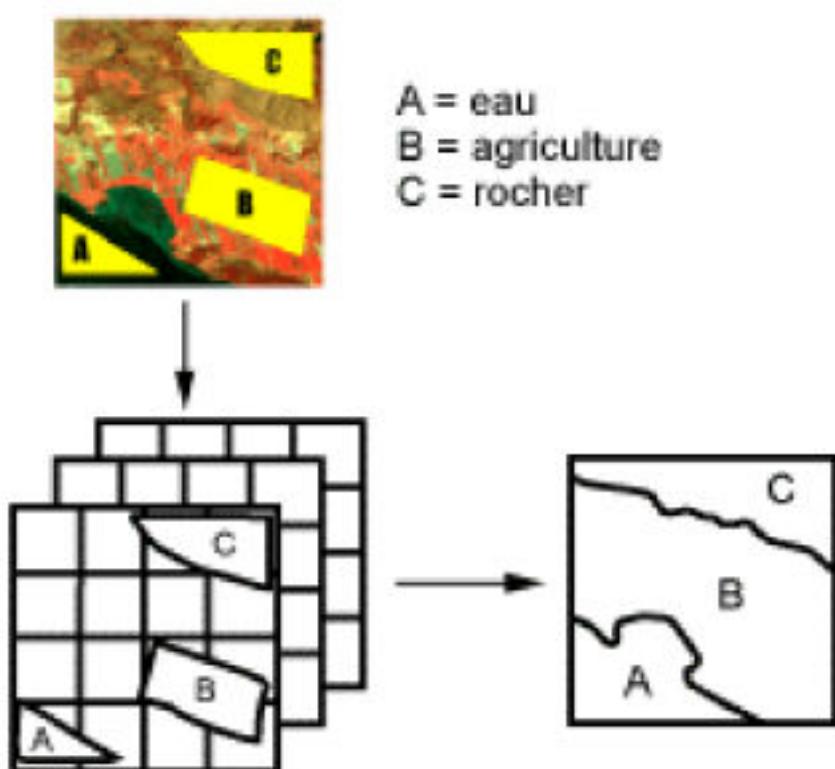


Figure 19: Classification supervisée.

217- Composition colorée

L'information apportée par un seul canal ne pas toujours donner un détail satisfaisant, le principe consiste en utilise trois canaux dans une même image ; à chaque canal une couleur différente, la superposition de ces images donne une nouvelle image appelée composition colorée.

La composition colorée obtenue par synthèse additive des lumières colorées (système Rouge – Vert – Bleu). En sachant que ces trois couleurs fondamentales correspondant à trois valeurs numériques pour chaque pixel.

Par exemple, une composition TM 1, 2, 4 affiche le canal vert de TM en bleu, le canal rouge en vert et le canal proche infrarouge en rouge.

218- Synthèse des néo-canaux

C'est une pratique courante dans l'analyse multi spectrale. Peut être classé comme méthode de compression des données, est issu de l'analyse de la physique des phénomènes, est utile pour différencier des objets au sol selon leur nature. L'examen des réponses obtenues dans les canaux du rouge et du proche infrarouge ont conduit à la définition de deux indices : l'indice de végétation et l'indice de brillance :

1. L'indice de végétation : est lié à l'activité chlorophyllienne. C'est un indicateur de la densité de végétation, il est constitué par une simple combinaison de canaux. Ce traitement abouti à la création d'un néocanal en combinant la réflectance du canal rouge et d'infrarouge.

Le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou IDNV (Indice de Végétation par la Différence Normalisée), variant entre -1 et +1, est un rapport normalisé entre le Proche Infrarouge et le Rouge (ROUSE et al., 1974):

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$$

Les zones végétalisées atteignent des valeurs comprises entre 0,6 et +1, les sols nus avoisinent 0 quant aux surfaces en eau elles présentent des valeurs négatives (LILLESAND et KIEFFER, 1994). Par ailleurs, de nombreuses études ont montré que

le NDVI, notamment dans les régions à couvert végétal épars, est plus ou moins influencé par la couleur des sols et les conditions d'humidité (RONDEAUX et *al.*, 1996).

2. L'indice de brillance : traduit les changements de teintes des sols nus et des roches. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les deux canaux.

$$IB = \sqrt{(PIR)^2 + R^2}$$

Cet indice permet théoriquement et mettre en évidence l'humidité du sol, la rugosité des surfaces ainsi que leur couleurs. (DESHAYES M. et MAUREL P., 1990).

219- Réflectance spectrale de la végétation, du sol et de l'eau

La figure 19 présente les courbes de la réflectance spectrale de 3 types de couverture : la végétation, le sol et l'eau. On remarque nettement la distinction entre les 3 types.

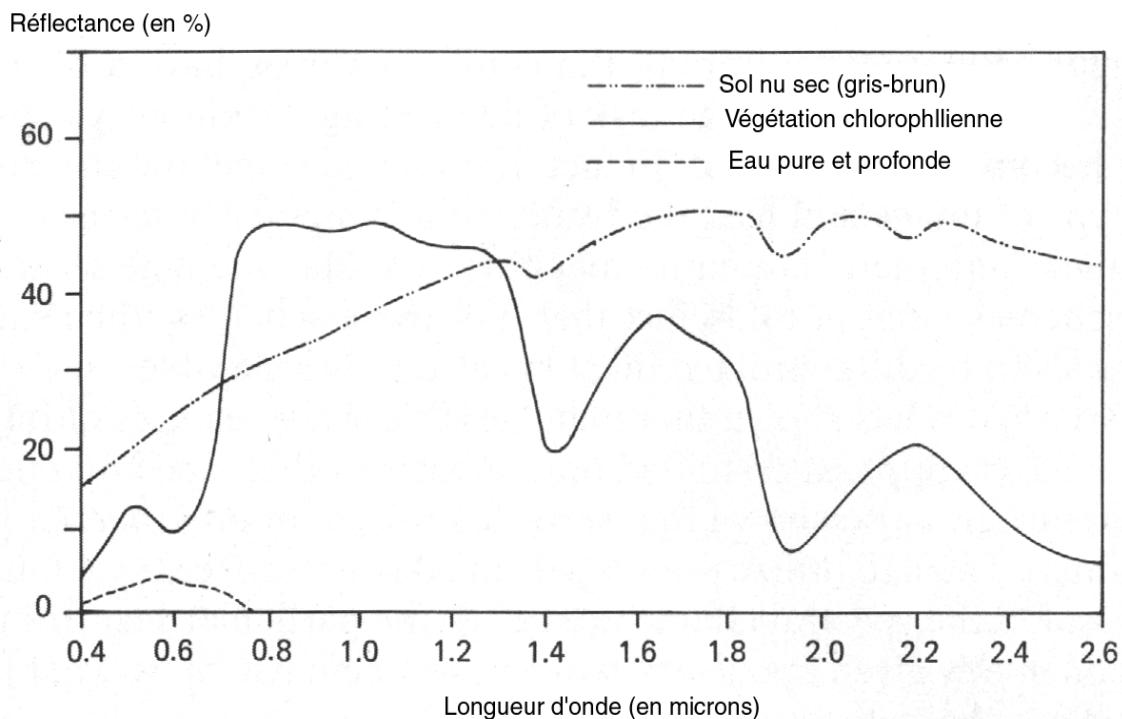


Figure 20: Courbes typiques de la reflectance spectrale de la végétation du sol et de l'eau (LILLESAND et KIEFFER, 1987).

La réflectance spectrale de la végétation se manifeste souvent par des sommets et des dépressions (vallées). Les dépressions sont contrôlées par les pigments contenus dans les feuilles. Par exemple, la chlorophylle absorbe fortement de l'énergie électromagnétique aux environs de 0.45 et 0.67 mm. Donc, la végétation nous paraît verte dans le visible (œil humain), parce qu'il y a une forte absorption du bleu et du rouge.

Si la plante est atteinte d'une certaine maladie (stress) qui pourrait interrompre sa croissance normale, cela pourrait diminuer ou cesser la production de la chlorophylle. En conséquence, il y aura moins d'absorption du bleu et du rouge. La réflexion de ces deux types d'énergie augmente à un point où les feuilles apparaissent jaunes (bleu + rouge) ou même oranges.

En allant du visible à l'infrarouge, la réflectance de la végétation augmente dramatiquement aux environs de 0.7 mm. Entre 0.7 et 1.3 mm, une feuille reflète typiquement entre 40 et 50 % de l'énergie qu'elle reçoit. La plus grande portion du reste est transmise, puisque l'absorption à ce niveau du spectre est faible (< 5 %). La réflectance des plantes dans cette région du spectre (0.7 à 1.3 mm) est causée spécialement par la structure interne des feuilles. Comme cette structure est très variable entre les espèces, les mesures de réflectance dans cette région du spectre nous permettent souvent de faire une distinction satisfaisante entre les espèces malgré leur ressemblance dans le visible.

Tableau 12: Relations entre couleurs et bandes spectrales pour les images couleurs et infrarouge.

Bandes spectrales	B = Bleu	V = Vert	R = Rouge	PIR	MIR	MIR
Longueurs d'ondes repères (nm)	450	550	675	900	1700	2200
Image couleur : couleur résultante	bleu	vert	Rouge			
Image infrarouge couleur : couleur résultante		bleu	vert	Rouge		
Canal SPOT		B1	B2	B3	B4	
Canal TM	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7

Source: GIRARD M. C., 2005

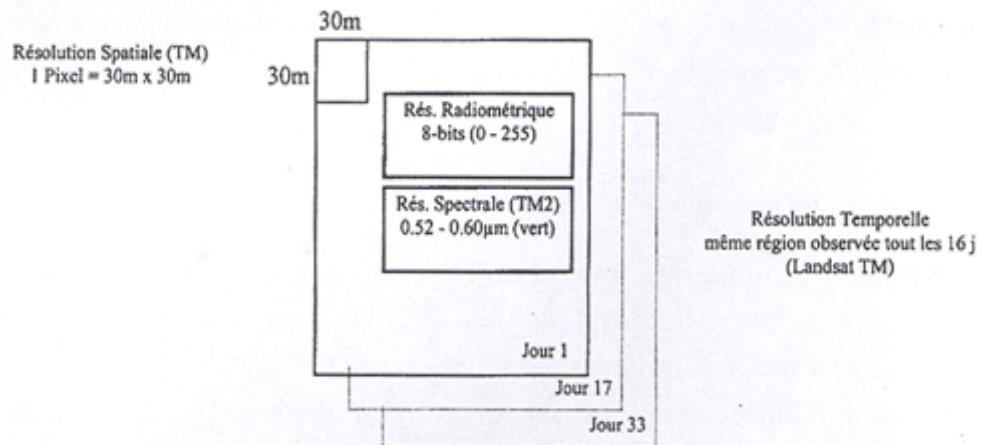


Figure 21: Les quatre types de résolution des données LANDSAT.

2110-Les différents types de résolution

- **Résolution spatiale** : taille au sol des pixels, étendue des images.
- **Résolution spectrale** : largeur des bandes spectrales détectées.
- **Résolution temporelle** : intervalle entre les prises de vue d'un même lieu, dépendant de l'orbite du satellite.

22-Notion de changement de la végétation (CRTS, 2004)

La terminologie communément employée varie considérablement selon les auteurs, on peut distinguer :

- des changements dans la végétation qui conservent la même apparence globale, la même physionomie, fluctuations.
- des changements plus radicaux qui modifient la physionomie de la végétation, à tel point qu'on peut considérer qu'elle a changé de type: successions.

221- Fluctuations

Elles résultent de différence entre rythmes (phénologie) des différentes espèces et du réarrangement perpétuel de la répartition des individus. Les variations interannuelles, d'ordre climatique notamment, influencent ce processus de réarrangement et peuvent entraîner des variations assez marquées dans les propositions des différentes espèces

présentes, mais sans modifier l'importance globale des espèces dominantes (celles qui impriment leur physionomie à la végétation).

Elles sont plutôt de courte durée, réversible en principe, la végétation variant d'année en année autour d'une moyenne, et sans qu'il ait généralement apparition d'espèces nouvelles. Leur importance est beaucoup plus grande en climat aride (à cause de la grande variabilité pluviométrique interannuelle) qu'en climat tempéré.

222- Successions

Celles-ci peuvent considérées comme une forme plus extrême de fluctuations où les proportions des espèces dominantes changent également. La composition botanique s'éloigne de la moyenne initiale, et souvent (quoique pas obligatoirement), de nouvelles espèces s'installent. Ce terme désigne finalement le processus de colonisation d'un biotope par les êtres vivants et les changements.

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

L'objectif de notre étude est de montrer d'une part, le potentiel de l'utilisation de la télédétection pour la caractérisation de l'état de l'occupation du sol des zones arides et son évolution spatio-temporelle à partir d'une étude diachronique d'images satellitaires de Landsat de différentes dates (1999 et 2010). De cet effet, nous avons concourir à l'étude de la végétation qui nous indique sur l'état de l'écosystème.

31. Etude floristique

Pour faciliter les études quantitatives et qualitatives, nous avons subdivisé la zone d'études à deux stations échantillonnées sur 20 relevés floristiques de 25 m^2 dans lesquelles nous avons appliqué un dépouillement des espèces et des individus, à partir desquels ont été déterminés:

Station 1 : est déterminée par les coordonnées suivantes :

Latitude : $4^{\circ}92' - 5^{\circ}52'E$ Longitude : $34^{\circ}67' - 35^{\circ}09'N$
Altitude : 50 à 200 m

Station 2 : est déterminée par les coordonnées suivantes :

Latitude : $4^{\circ}92' - 5^{\circ}52'E$ Longitude : $34^{\circ}67' - 35^{\circ}09'N$
Altitude : 60 à 100 m

311. Le relevé phytosociologique

Le relevé phytosociologique d'après GUINOCHE (1973), est un inventaire floristique.

La surface du relevé doit être au moins égale à l'aire minimale, contenant le quasi totalité des espèces présentes (CHABANE, 1993).

312- Calcul de l'aire minimale

Dans un secteur homogène, on délimite un carré de 1m^2 au moyen de 4 piquets et d'une corde. On compte le nombre d'espèces présentes dans ce carré. On double sa surface ($1\text{m} \times 2\text{m} = 2\text{m}^2$) et on compte le nombre d'espèces nouvelles. On double encore ce carré ($2\text{m} \times 2\text{m} = 4\text{ m}^2$) puis ($4\text{m} \times 2\text{m} = 8\text{m}^2$) et ainsi de suite. On trace ainsi la courbe

aire/ espèces (en abscisses = surface croissante; en ordonnées = nombre d'espèces) (SALVAUDON, 2006).

L'aire minimale est la surface correspondant au point d'inflexion de la courbe.

Nous avons retenu pour le présent travail l'échantillonnage subjectif qui est la forme la plus simple et la plus intuitive d'échantillonnage (GOUNOT, 1969).

Positionnement du relevé : dans une station physionomiquement homogène d'un point de vue de la flore et des formations végétales. On dit qu'un groupement est homogène si en tout point on peut en reconnaître le motif, c'est-à-dire les mêmes espèces végétales dans la même ordonnance (SALVAUDON, 2006).

313- Taille du relevé

Plus ou moins importante en fonction de la taille de la zone homogène et de la « maille » apparente de la végétation. La taille du relevé doit être supérieure à « l'aire minimale », qui est spécifique à chaque type d'association (plus petite dans une prairie ($4m^2$) que dans une forêt ($100 m^2$)) SALVAUDON, 2006.

La surface du relevé doit être au égale ou supérieure à l'aire minimale, contenant la quasi totalité des espèces présentes.

Dans notre cas, la taille du relevé est de $25 m^2$.

314- La liste des espèces végétales

Réalisée, grâce à la méthode de l'aire minimale, tout au long de la période d'étude.

315- 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.

316- La densité

Les mesures de la densité sont exprimées en nombre d'individu par unité de surface (relevé de $100 m^2$).

317- La fréquence

Elle est calculée (en %) selon la formule : $F(x) = n / N \times 100$.

n : Nombre de relevés de l'espèce x

N : Nombre total de relevés réalisés.

Chaque espèce présente, doit être affectée de deux indices. Le premier concerne l'abondance-dominance, le second est la sociabilité.

318- Le coefficient d'abondance dominance de BRAUN BLANQUET

Estimé selon l'échelle de (BRAUN BLANQUET, 1951).

Parmi les données recueillies le coefficient d'abondance-dominance est classiquement établi lors du relevé phytosociologique.

L'échelle suivante est la plus couramment adoptée :

5 : recouvrement supérieur à 75 % du quadrat

4 : recouvrement compris entre 50 et 75 %

3 : recouvrement compris entre 25 et 50 %

2 : recouvrement compris entre 5 et 25 %

1 : recouvrement inférieur à 5 % (peu abondant)

+ : très peu abondant

On peut ajouter à cette notation les sigles R (espèce très rare) et i (individu unique).

319- Coefficient de sociabilité

L'échelle qualitative suivante:

1 : éléments répartis de façon ponctuelle ou très diluée (pieds isolés)

2 : éléments formant des peuplements ouverts, très fragmentés en petites taches à contours souvent diffus (touffes, bouquets)

3 : éléments formant des peuplements fermés mais fragmentés en petits îlots (nappes, bosquets)

4 : éléments formant plusieurs peuplements fermés, souvent anastomosés, à contours nets (réseaux)

5 : éléments formant un seul peuplement dense

La détermination des taxons a été faite à partir de la nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales de QUEZEL et SANTA (1962,1963).

L'utilisation de cette approche méthodologique, nous permettra l'élaboration de tableaux floristiques pour chaque station.

3110-Indice d'occurrence ou constance

La fréquence d'occurrence **C_i** d'espèce *i*, appelée aussi fréquence d'apparition ou indice de constance est le pourcentage du rapport du nombre de relevés **p_i** contenant l'espèce *i* au total des relevés réalisés **p** (DAJOZ, 1985).

Cet indice est calculé selon la formule suivante :

$$C = \frac{p_i}{p} \times 100 \quad (\%)$$

Suivant la constance, on peut repartir les espèces dans les classes suivantes :

Espèces omniprésentes : $C = 100\%$

Espèces constantes : $75 < C < 100\%$

Espèces régulières : $50 < C < 75\%$

Espèces accessoires : $25 < C < 50\%$

Espèces accidentielles : $5 < C < 25\%$

Espèces rares : $C < 5\%$

3111-La richesse spécifique totale

La richesse totale **S** correspond au nombre total d'espèces présentes dans un biotope ou une station donnée.

Les deux grands gradients de variation de la richesse spécifique sont :

- le nombre d'espèces
- la surface sur laquelle sont étudiées ces espèces.

La richesse spécifique est une mesure de la biodiversité de tout ou partie d'un écosystème ; elle désigne le nombre d'espèces de faune et/ou de flore présentes dans l'espace considéré.

3112-Indice de diversité de Shannon

Est un indice permettant de mesurer la biodiversité. Les appellations Shannon-Weaver ou Shannon-Wiener sont incorrectes : seul Claude Elwood Shannon est à l'origine de cet indice, qui est basé sur la notion d'entropie (entropie de Shannon).

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

H' : indice de biodiversité de Shannon

i : une espèce du milieu d'étude

p_i : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu), qui se calcule de la façon suivante :

$$p(i) = \frac{n_i}{N}$$

où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces).

Cet indice permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu d'étude et donc d'observer une évolution au cours du temps. Cet indice varie toujours de 0 à $\ln S$. Cet indice est l'un des plus connus et des plus utilisés par les spécialistes.

Plus la valeur de l'indice est élevée, plus les espèces rares ou peu abondantes est faible.

3113-Indice d'équarépartion ou équabilité

L'indice d'équabilité 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 ($H_{max} = \log S$).

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

L'analyse et la synthèse des données écologiques est certainement un préalable de premier ordre pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes et pour l'aménagement du milieu. Cependant, ce préalable, en écologie comme pour toute autre étude ne peut être une fin en soi. C'est essentiellement un instrument d'investigation, de combinaison et par suite d'utilisation de l'information recueillit pour entre autre, une réflexion sur l'aménagement (LONG, 1975 ; OZENDA, 1982 et MEDERBEL, 1992).

32-Etude des images satellitaires

L'identification des données, en outre d'autoriser un constat synchronique du milieu en question et à un moment donné, elle permet également d'aborder une étude diachronique. La confrontation des résultats avec d'autres documents thématiques permet alors de jeter les bases d'un diagnostic phytoécologique par l'interprétation statique (identification des différentes unités) et l'interprétation dynamique (changement survenus).

L'identification de données se réalise en deux phases :

Phase d'analyse :

Il s'agit de mener une lecture sur image satellitaire à même de repérer des indications et autres indices susceptibles de permettre une délimitation fiable des couvertures végétales, leurs distributions, les zones homogènes, les discordances éventuelles et autres ces lectures d'image gagnent à être interprété par concrétisation sur terrain.

Phase de synthèse :

Les données obtenues en phase d'analyse serviront au traitement et à l'interprétation de l'image satellitaire et peut servir à la mise en place d'un SIG.

321- Matériel utilisé

- Un ordinateur pentium 4.
- GPS (*Global Positionning System* ou système de position géographique).
- Le logiciel ENVI (*Environment for Visualising Images*) 4.1 de RSI. C'est un logiciel de visualisation et d'analyse de différents formats d'images :

322- Données utilisées

Nous avons utilisés deux images satellitaires à différentes dates qui ont les caractéristiques suivantes :

Première image : ces principales caractéristiques sont :

- Scène (Path 194, Row 036) LANDSAT ETM+ du 02/07/1999 ;
- Projection : UTM Zone 31 N ;
- Résolution spatiale : 30 m ;
- Dimensions : 805X705 pixels.

Deuxième image : ces principales caractéristiques sont :

- Scène (Path 194, Row 036) LANDSAT ETM+ du 30/06/2010 ;
- Projection : UTM Zone 31 N ;
- Résolution spatiale : 30 m ;
- Dimensions : 805X705 pixels.

Les données utilisées sont deux images à presque des dates correspondantes.

323- Le satellite Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper)

Dans notre travail, nous avons utilisé une image « ETM » transmise par Le satellite Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper).

C'est un satellite se trouvant à une altitude standard variant entre 917 à 705 km, héliosynchrone, en orbite sub-polaire, caractérisé par une répétitivité de 16 jours.

Ce satellite est muni d'un capteur ETM passif à balayage. Les images des mêmes scènes, comportent l'ensemble des canaux ETM (1 à 7). La taille du pixel est de l'ordre de 30 m x 30 m ; sauf le canal 6, infrarouge thermique, qui présente une taille de 60 m x 60 m.

Le système géodésique WGS 84 est le système natif commun du GPS et à l'imagerie Landsat qui a été utilisé dans notre travail.

324-Approche méthodologique

Les données de télédétection sont interprétées par des mesures météorologiques provenant des réseaux de l'ONM (Office National de la Météorologie) concernant les

pluviométries moyennes annuelles, correspondantes aux années d'acquisition des images.

Le traitement de ces données par des chaînes de traitement appropriées permet l'extraction de plusieurs paramètres biophysiques utiles pour des applications thématiques. Parmi ces paramètres les indices de végétation qui présente une grande efficacité dans la caractérisation et le suivi régulier de la végétation.

L'utilisation des supports cartographiques engendre des informations incertaines qui ne peuvent être levées que par un renforcement d'observations et de mesures sur terrain. Ces travaux restent indispensables pour deux raisons :

- certaines variables du milieu physique ne peuvent être mesurées que par des observations de terrain.
- les variables mesurées par satellite doivent être calibrées et vérifiées sur terrain.
- les images utilisées sont parfaitement superposables au pixel près.

Le travail de terrain :

Des sorties sur terrain sont la méthode la plus fiable pour confirmer les résultats obtenus à partir du traitement de l'image satellite. Pour cela nous avons effectué plusieurs sorties :

- Sorties de reconnaissance et prospection du terrain, durant laquelle on a effectué des relevés de végétation pour déterminer les différentes formations végétales et à la détermination des zones d'entraînement. Accompagnés de cartes topographiques (1/50000), et de GPS.
- Sorties de mesure des différentes unités du terrain.

-Une sortie a pour objectif de valider les résultats.

3241-Etude diachronique

Pour la réalisation de ce travail, nous avons suivi les étapes suivantes :

1- Prétraitement

- Corrections géométriques et atmosphériques :

Les corrections géométriques des images doivent être réalisées préalablement aux traitements d'images, car les données satellites brutes ne sont superposables ni avec d'autres images brutes ni avec des documents cartographiques du fait des déformations dues au système de prises de vue, aux reliefs et à la courbure de la terre (angle de visé, rotation de la terre, etc.). Le redressement géométrique permet à la fois de corriger ces biais et également de géoréférencier les images satellites dans un système de projection cartographique.

L'autre étape de prétraitements concernait le calibrage atmosphérique des images, de fait que les facteurs atmosphériques ne sont pas identiques pour les deux dates de prise de vue. Cependant, la méthode relative de correction atmosphérique utilisée par CASELLES et *al.*, basée sur la sélection sur l'image des objets à priori invariants a été retenue. Un modèle linéaire simple visant à décrire la relation entre comptes numériques des deux images aux deux dates.

L'estimation des deux paramètres a été effectuée en choisissant sur les deux images des échantillons représentant des objets supposés invariables dans le temps. Le choix est défini de telle sorte que l'échantillon sélectionné sur l'image à corriger doit être le même sur l'image de référence. Pour se faire, nous avons calculé les moyennes d'échantillons représentant le sable, les routes et la montagne.

- Superposition des limites administratives de la commune de Tolga :

On a pris les limites administratives de la commune de Tolga et superposé sur les deux images satellitaires de 1999 et 2010.

- Création de la composition colorée :

La composition colorée est un moyen rapide et efficace qui permet de visualiser simultanément trois canaux différents. Chacun d'eux est affiché dans l'une des trois couleurs primaires : rouge, vert, et bleu et par synthèse additive on obtient une large gamme de couleur (ESCADAFAL R., 1989 ; GIRARD et GIRARD, 1999).

- Réalisation d'un masquage :

qui consiste à cacher une partie de l'image. Un masque peut être radiométrique ou géométrique (Dans un masque radiométrique, on élimine de l'image un ensemble de valeurs radiométriques à partir de l'histogramme. Dans un masque géométrique, on élimine sur l'image un espace géographique).

- Extraction de l'image RVB de Tolga de l'année 1999 et 2010 :

Les limites administratives ont permis de faire la délimitation finale de la zone d'étude « Tolga ». Nous avons superposé ces limites sur les deux images satellites par l'application des masques afin de garder uniquement la zone d'étude.

2- Traitement

- Création de l'indice NDVI pour les deux images :

Nous avons fait des traitements pour la création de la carte de NDVI.

- Création des classifications :

Nous avons fait une classification supervisée qui est celle pour laquelle on recherche des objets semblables à des objets de référence sur terrain, ou repérés géographiquement sur une image (noyaux, zone de référence). Le logiciel ENVI propose 4 méthodes de classification dont la plus performante est la méthode par maximum de vraisemblance (DOS SANTOS, 2001).

Par le logiciel ENVI 4.7 nous avons lancé automatique la classification dirigée par maximum de vraisemblance avec un seul thème qui est la palmeraie et on a obtenu la carte des palmeraies.

L'image classée présente un certain nombre d'imperfections qui peuvent être, en partie, corrigées. Il s'agit d'un série de traitement dit post classification. On distingue :

- L'utilisation de filtre pour éliminer les pixels isolés ;
- La superposition de masques ;
- La vectorisation.

- Réalisation de la carte des changements :

Nous avons fait la différence entre les deux cartes de NDVI 1999 et 2010.

- Réalisation de la carte des palmeraies.

Les points d'échantillonnage sont alors pointés et matérialisés par des polygones (GIRAD et GIRAD, 1999) puis repérés sur le terrain grâce à un GPS (Système de Position Géométrique).

On a adopté l'échantillonnage subjectif qui est la forme la plus simple et la plus intuitive d'échantillonnage (GOUNOT, 1969), il consiste à choisir les échantillons qui paraissent les plus représentatifs est suffisamment homogènes (LONG, 1974).

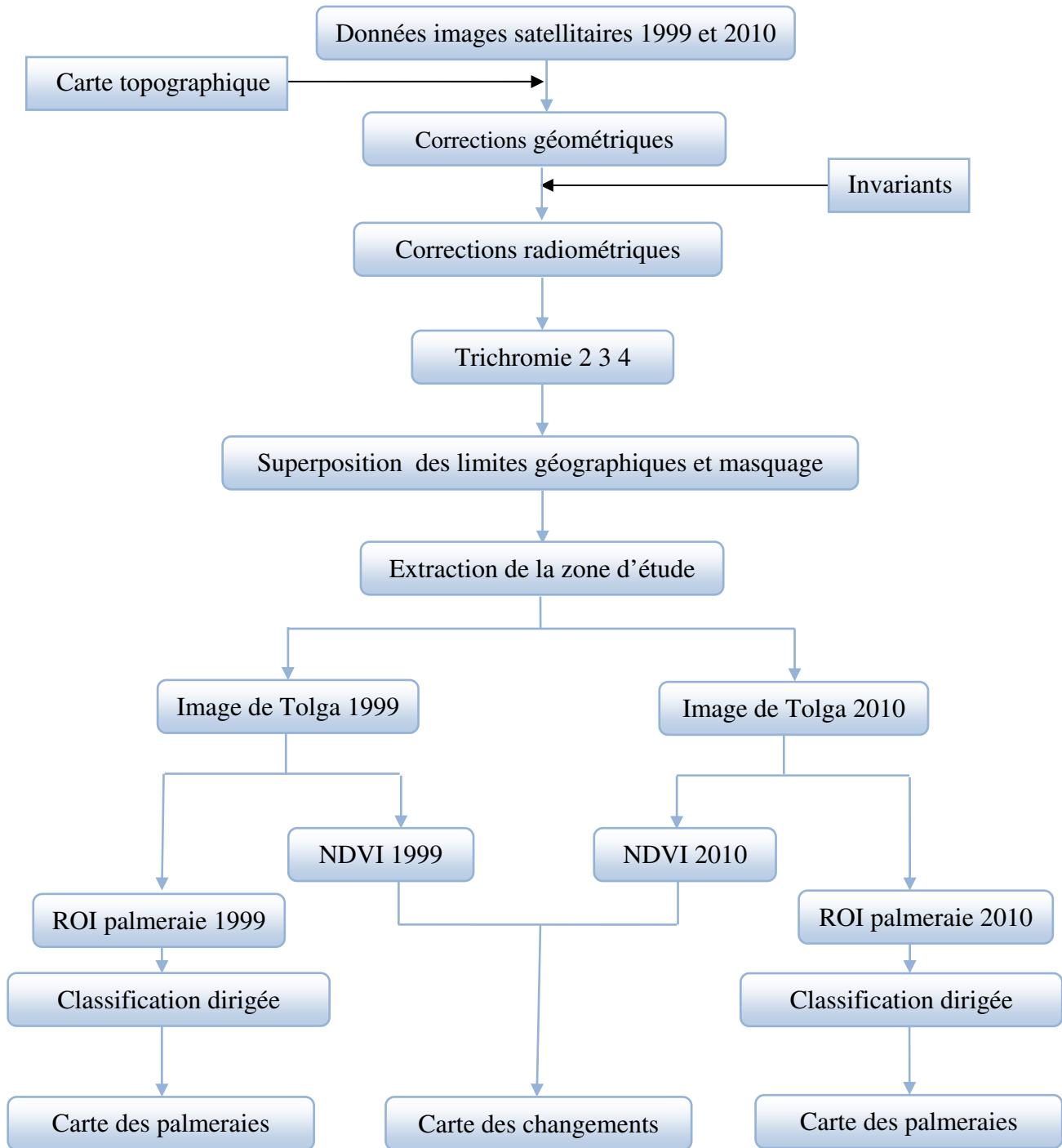


Figure 22: Approche méthodologique du travail.

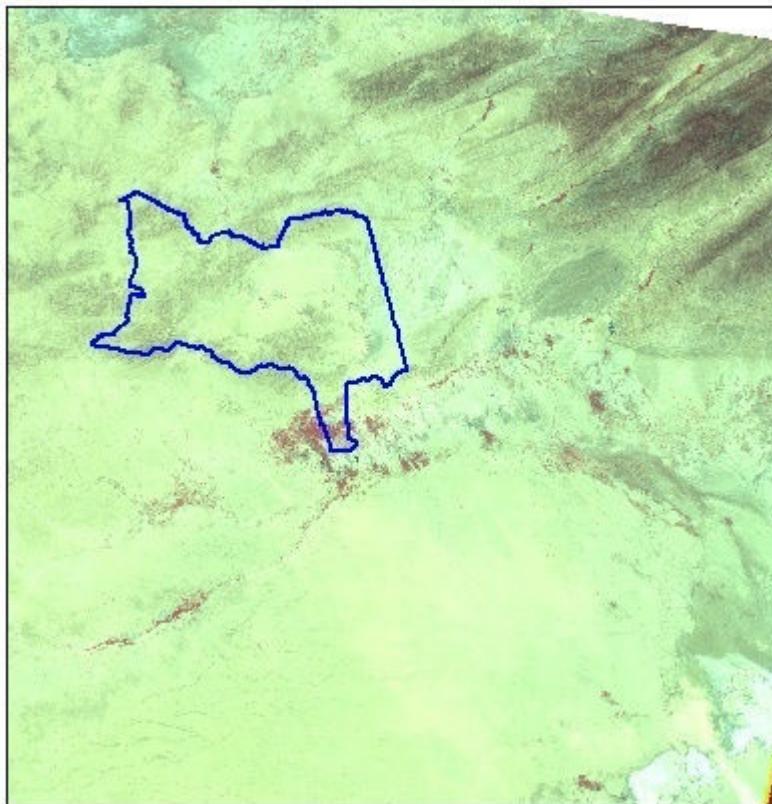


Figure 23: Image satellitaire de la région de Tolga en 1999.

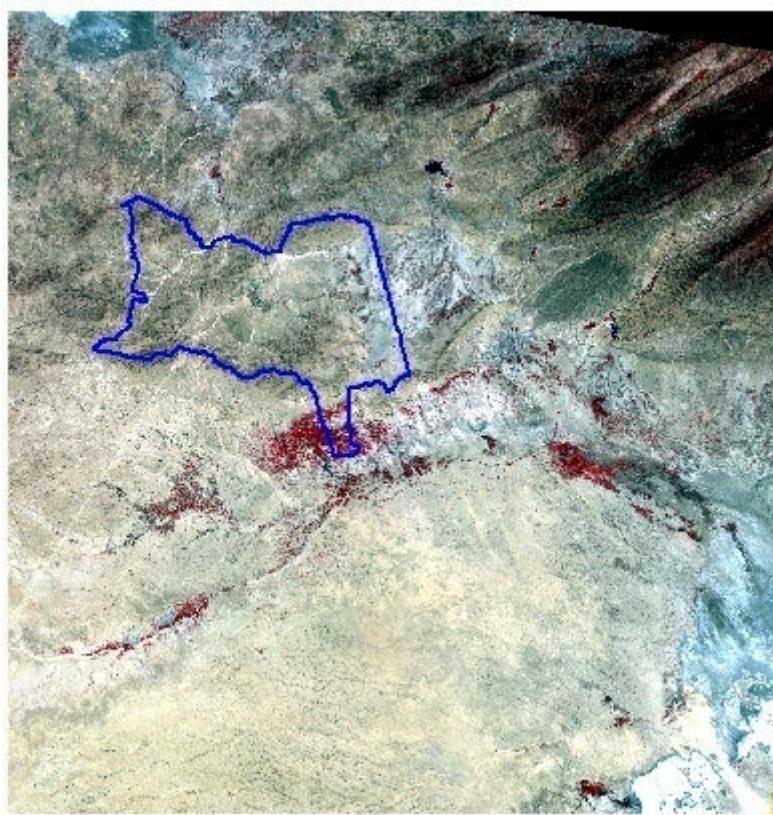


Figure 24: Image satellitaire de la région de Tolga en 2010.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Dans ce chapitre nous discutons les résultats obtenus.

41- Etude de la végétation

411- Analyse floristique

- Station 1 : (Tableau 12)

Dans cette station on remarque une diversité biologique importante dominée par les espèces suivantes :

- *Zygophyllum album* 28.46%
- *Anabasis articulata* 18.49%
- *Atriplex halimus* 15.20%
- *Astragalus armatus* 8.71%
- *Aristida pungens* 8.23%
- *Arthrophytum scoparium* 6.78%

On remarque aussi que la strate arborée n'est représentée que par l'espèce *Tamarix africana* et *Ziziphus lotus*.

Un taux de recouvrement en moyen de 28.10 %.

- Station 2 : (Tableau 13)

Dans cette station on remarque une diversité biologique importante dominée par les espèces suivantes :

- *Zygophyllum album* 19.31%
- *Juncus maritima* 15.40%
- *Imperata cylindrica* 12.58%
- *Dactylon cynodon* 8.24%
- *Anabasis articulata* 6.51%
- *Suaeda fructicosa* 5.97%

On remarque aussi que la strate arborée n'est représentée que par l'espèce *Tamarix africana*.

Un taux de recouvrement en moyen de 24.60 %.

Tableau13 : Relevés floristiques de la station 1.

Localisation	station 1									
Coordonnées	Latitude : 4°92'-5°52' Longitude : 34°67'-35°09'									
Altitude	50 à 200 m									
Classe de pente										
Substrat	gypseux calcaire, debdeb, sol salé									
Date	mars-11									
Taux de recouvrement (%)	38	60	27	28	19	20	21	19	23	26
N° du Relevé	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Espèces										
<i>Anabasis articulata</i>	3.1						++	++		
<i>Aristida pungens</i>			2.1						++	
<i>Arthrophytum scoparium</i>	1.1		+.+		1.1		2.2	1.1	++	
<i>Astragalus armatus</i>	1.1							1.1		2.1
<i>Atractylis serratuloides</i>	+.+		+.+							++
<i>Atriplex halimus</i>			3.2			3.2				
<i>Chrysanthemum macrocarpum</i>	+.+		+.+					++		++
<i>Colocynthis vulgaris</i>			r							
<i>Pergularia tomentosa</i>	r							1.+		++
<i>Retama retam</i>			+.+						++	
<i>Salsola tetragona</i>				1.1						
<i>Solanum nigrum</i>								++		
<i>Suaeda fructicosa</i>		+.+				+.+				
<i>Suaeda mollis</i>	r						+.+	+.+		++
<i>Tamarix africana</i>					+.+	2.2				
<i>Zygophyllum album</i>	2.1		1.1	+.+	+.+			2.2	+.+	1.+

Les espèces végétales s'installent sur des aires suivant leurs exigences edaphiques, des halophytes comme *Atriplex halimus*, *Anabasis articulata*, *Suaeda fructicosa*, des psamophytes comme *Aristida pungens*, *Limoniastrum guyonianum*, des espèces hygrophytes comme *Phragmites communis*, *Imperata cylindrica*, *Juncus maritima* et des espèces calcifuges comme *Zygophyllum album*.

Tableau14 : Relevés floristiques de la station 2.

Localisation	Tolga-station 2									
Coordonnées	Latitude : 4°92'-5°52' Longitude : 34°67'-35°09'									
Altitude	50 à 100 m									
Classe de pente										
Substrat	gypseux calcaire, debdeb, sol salé									
Date	mars-11									
Taux de recouvrement (%)	37	27	26	25	21	19	22	28	20	21
N° du Relevé	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
Espèces										
<i>Anabasis articulata</i>			1.1	1.1		1.1			1.1	++
<i>Chenopodium murale</i>	1.1									++
<i>Chrysanthemum coronarium</i>				++			1.1			
<i>Atriplex halimus</i>				++	++			1.1		
<i>Dactylon cynodon</i>			1.1							2.2
<i>Imperata cylindrica</i>			1.1				1.1		1.1	
<i>Juncus maritima</i>			1.1				1.1		1.1	
<i>Limoniastrum guyonianum</i>		2.2				++			1.1	
<i>Peganum harmala</i>	2.2						++			
<i>Pergularia tomentosa</i>	1.1									++
<i>Phragmites communis</i>			1.1							
<i>Suaeda fructicosa</i>				2.1				2.2		
<i>Salsola vermiculata</i>					++		++			++
<i>Tamarix africana</i>				++					1.1	
<i>Zygophyllum album</i>	2.2	2.2			1.1		3.2			

412- Composition floristique

A travers les différents relevés floristiques effectués nous avons recensé 63 espèces appartenant à 28 familles (Tableau 14) divisées en 30 plantes permanentes (ou vivaces) et 33 annuelles (éphémères ou acheb).

Il faut noter que sur les 28 familles recensées 19 ne sont représentées que par une seule espèce.

Tableau 15 : Espèces inventoriées suivant les différentes familles, type biologiques et types morphologiques.

Famille	Espèce	Type biologique	Type morphologique
Apiacées	<i>Daucus carota</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
Asclépiadacées	<i>Pergularia tomentosa</i>	Chamaephyte	Herbacée vivace
Astéracées	<i>Atractylis delicatula</i>	Hémicryptophyte	Herbacée annuelle
	<i>Atractylis serratuloides</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Centaurea omphylotricha</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
	<i>Chrysanthemum macrocarpum</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
	<i>Chrysanthemum segetum</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
	<i>Sonchus arvensis</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
	<i>Sonchus oleraceus</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
Brassicacées	<i>Diplotaxis harra</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
Chénopodiacées	<i>Anabasis articulata</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Arthrophytum scoparium</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Atriplex halimus</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Chenopodium murale</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
	<i>Hamada cimitiane</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Salsola foetida</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Salsola tetragona</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Salsola vermiculata</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Suaeda fruticosa</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Suaeda mollis</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
Cistacées	<i>Helianthemum kahiricum</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
	<i>Helianthemum lipii</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
Convulvulacées	<i>Convolvulus serratuloides</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
Cucurbitacées	<i>Colocynthis vulgaris</i>	Hémicryptophyte	Herbacée annuelle
Ephedracées	<i>Ephedra alata</i>	Chamaephyte	Herbacée vivace
Euphorbiacées	<i>Euphorbia cornuta</i>	Hémicryptophyte	Herbacée annuelle
	<i>Euphorbia guyoniana</i>	Therophyte	Herbacée vivace
Fabacées	<i>Astragalus armatus</i>	Chamaephyte	Herbacée vivace
	<i>Genista saharae</i>	Phanérophyte	Ligneux vivace
	<i>Retama retam</i>	Phanérophyte	Ligneux vivace
Frankeniacées	<i>Frankenia pulverulenta</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
Juncacées	<i>Juncus maritima</i>	Chamaephyte	Herbacée vivace
Labiées	<i>Salvia aegyptiaca</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
Liliacées	<i>Asphodelus tenuifolius</i>	Géophyte	Herbacée vivace
Malvacées	<i>Malva aegyptiaca</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
Orobanchacées	<i>Orobanche sp</i>	Géophyte	Herbacée annuelle
Plantaginacées	<i>Plantago ciliata</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
	<i>Plantago notata</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
Plumbaginacées	<i>Limonastrirum guynianum</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
	<i>Limonium sinuatum</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
Poacées	<i>Aristida pungens</i>	Hémicryptophyte	Ligneux vivace
	<i>Avena sterilis</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
	<i>Bromus rubens</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
	<i>Cynodon dactylon</i>	Géophyte	Herbacée vivace
	<i>Hordeum murinum</i>	Therophyte	Herbacée annuelle

	<i>Imperata cylindrica</i>	Géophyte	Ligneux vivace
	<i>Phalaris brachystachys</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
	<i>Phalaris paradoxa</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
	<i>Phragmites communis</i>	Hémicryptophyte	Ligneux vivace
	<i>Schismus barbatus</i>	Therophyte	Herbacée annuelle
	<i>Stipa tenacissia</i>	Géophyte	Ligneux vivace
Rhamnacées	<i>Ziziphus lotus</i>	Phanérophyte	Ligneux vivace
Rosacées	<i>Poterium sanguisorba</i>	Chamaephyte	Herbacée vivace
Rutacées	<i>Ruta tuberculata</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
Solanacées	<i>Datura stramonium</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
	<i>Solanum nigrum</i>	Hémicryptophyte	Herbacée annuelle
Tamaricacées	<i>Tamarix africana</i>	Phanérophyte	Ligneux vivace
	<i>Tamarix gallica</i>	Phanérophyte	Ligneux vivace
Thyméléacées	<i>Thymelea microphylla</i>	Chamaephyte	Ligneux vivace
Urticacées	<i>Urtica dioica</i>	Chamaephyte	Herbacée annuelle
Zygophyllacées	<i>Peganum harmala</i>	Therophyte	Herbacée vivace
	<i>Zygophyllum album</i>	Chamaephyte	Herbacée vivace

413- Les types biologiques (figure25 et tableau15).

RANKIAER (1905,1934) part, en effet, du raisonnement que les plantes, du point de vue biologique, sont avant tout, organisées pour traverser la période critique du cycle saisonnier, qui peut être l'hiver à cause du froid ou l'été à cause de la sécheresse. La protection des méristèmes, auxquels ils incombent d'assurer la continuité de la plante, a donc une très grande importance.

A cet effet, RANKIAER met l'accent sur les caractères et la situation des bourgeons qui abritent ces tissus, et il distingue les catégories suivantes :

Phanérophytes (arbres), *chamaephytes* (buissons), *hémicryptophytes*, *géophytes* et *thérophytes*.

Le Tableau 14, montre la répartition des types biologiques en tenant compte de la présence des espèces ainsi que leur abondance relative.

On remarque que les chamaephytes occupent la moitié de l'espace et viennent les thérophytes en deuxième place. Ce qui confirme les travaux de DANIN et ORSHAN (1990), les chamaephytes qui s'adapte mieux à la sécheresse et aux forts éclairages lumineux. Et aussi leur dominance indique le surpâturage comme trouvé KADI HANIFI ACHOUR (1998), le surpâturage favorise aussi de manière globale chamaephytes repoussées par les troupeaux.

Pour les thérophytes, SAUVAGE (1960), GAUSSEN (1963), NEGRE (1966), DAGET (1980) et BARBERO et *al* (1990) présentent la thérophytie comme étant une forme de résistance à la sécheresse, ainsi qu'aux fortes températures des milieux arides et un stade de dégradation ultime (QUEZEL, 2000).

FLORET et *al* (1992) signale que plus un système est influencé par l'homme (surpâturage, culture), plus les thérophytes y prennent de l'importance.

Tableau 16 : Les types biologiques et leurs taux.

Types biologiques	Chamaephyte	Géophyte	Hémicryptophyte	Phanerophyte	Therophyte
Pourcentage (%)	49,21	7,94	9,52	7,94	25,40

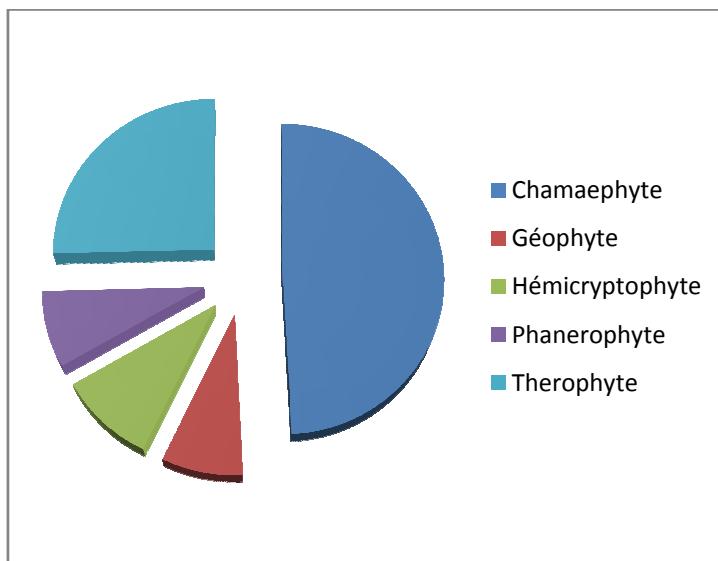


Figure 25 : Représentation des types biologiques.

414- Les types morphologiques (figure26 et tableau16).

De nos résultats, on observe que la végétation étudiée est divisée en groupes égaux, la moitié des plantes annuelles et la moitié vivaces.

Tableau 17 : Les types morphologiques et leurs taux.

Types morphologiques	Herbacée annuelle	Herbacée vivace	Ligneux vivace
Pourcentage (%)	49,21	15,87	34,92

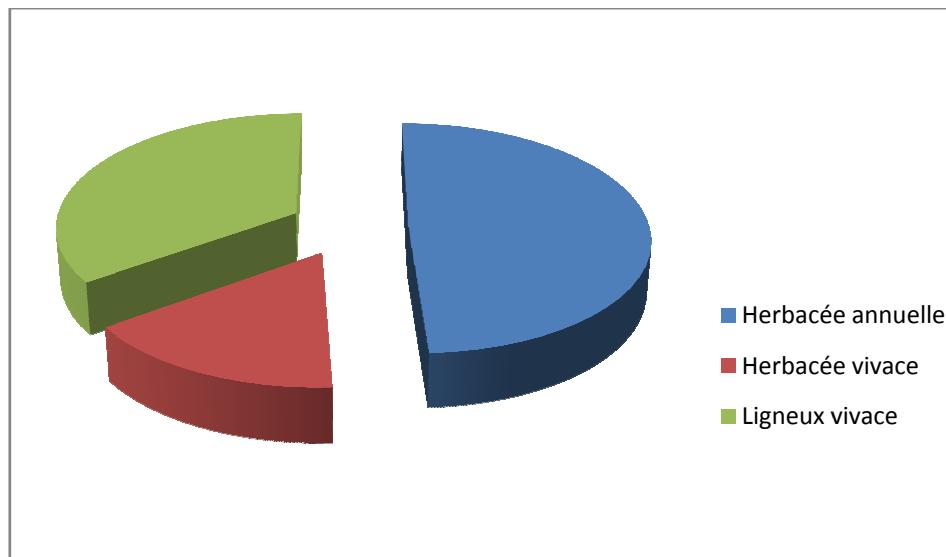


Figure 26 : Représentation des types morphologiques.

415- Abondance dominance (figure 27 et 28 et tableau 12 et 13).

Parmi les données recueillies le coefficient d'abondance-dominance de BRAUN-BLANQUET est classiquement établi lors du relevé phytosociologique.

Ce coefficient montre, l'abondance est une estimation globale de la densité ou nombre d'individus et la dominance ou taux de recouvrement c'est une projection verticale des parties aériennes des végétaux.

Tamarix africana au relevé 5 elle est dominante mais pas abondante. *L'Atriplex halimus* au relevé 2 est abondant et dominant.

Des figures et des tableaux on voie que *Zygophyllum album* est la plus abondante dans la zone d'études.

416- Densité (tableau 6 et 7 en annexe).

On a enregistré une densité spécifique de 117.6 individus/m² la plus élevée pour *Zygophyllum album* et la plus faible densité de 0.8.

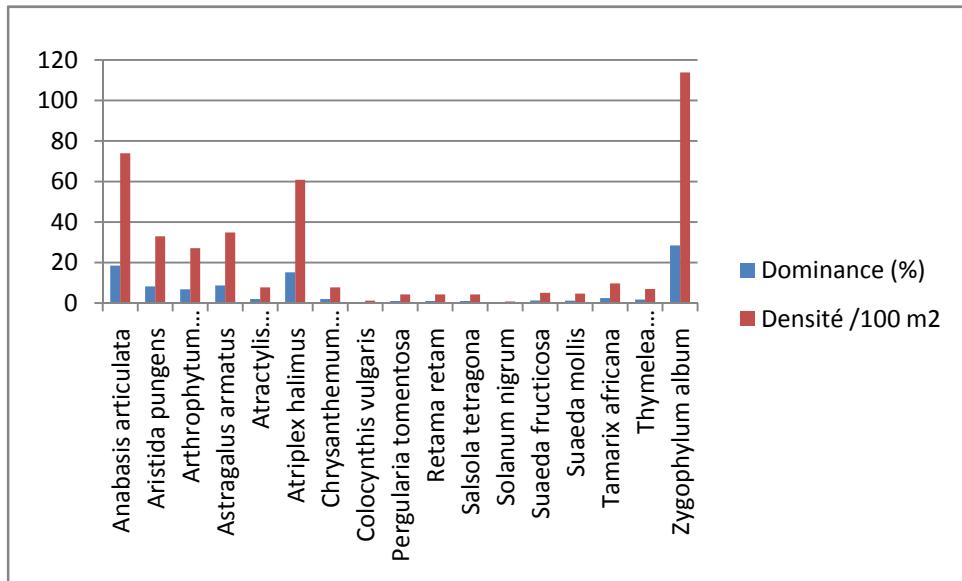


Figure 27 : Dominance et densité pour station 1.

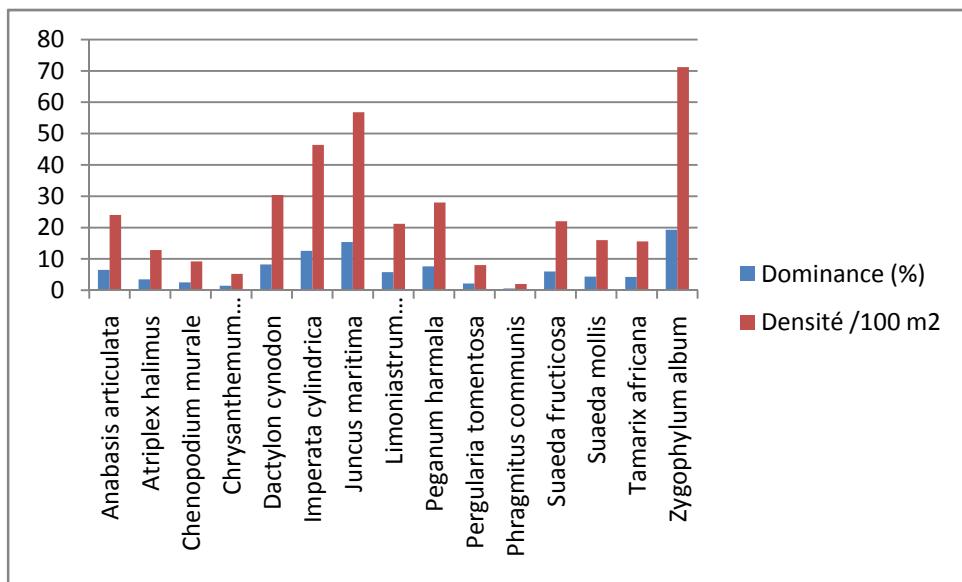


Figure 28 : Dominance et densité pour station 2.

Tableau18 : Indice d'occurrence obtenu de chaque espèce.

	Espèces	Indice d'occurrence	Remarque
Station 1	<i>Anabasis articulata</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Aristida pungens</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Arthropodium scoparium</i>	60%	Espèce régulière
	<i>Astragalus armatus</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Atractylis serratuloides</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Atriplex halimus</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Chrysanthemum macrocarpum</i>	40%	Espèce accessoire
	<i>Colocynthis vulgaris</i>	10%	Espèce accidentelle
	<i>Pergularia tomentosa</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Retama retam</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Salsola tetragona</i>	10%	Espèce accidentelle
	<i>Solanum nigrum</i>	10%	Espèce accidentelle
	<i>Suaeda fructicosa</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Suaeda mollis</i>	40%	Espèce accessoire
Station 2	<i>Tamarix africana</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Thymelea microphylla</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Zygophyllum album</i>	60%	Espèce régulière
	<i>Anabasis articulata</i>	50%	Espèce régulière
	<i>Atriplex halimus</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Chenopodium murale</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Dactylon cynodon</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Imperata cylindrica</i>	40%	Espèce accessoire
	<i>Juncus maritima</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Limoniastrum guyonianum</i>	30%	Espèce accessoire
	<i>Peganum harmala</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Pergularia tomentosa</i>	20%	Espèce accidentelle
	<i>Phragmites communis</i>	10%	Espèce accidentelle

417-Indice d'occurrence ou constance

Le tableau 18 ci-dessus montre les résultats de l'indice d'occurrence obtenus à partir des relevés floristiques.

La majorité des espèces inventoriées sont des espèces accidentelles et espèces accessoires, avec 3 espèces sont régulières.

418-La richesse spécifique

La richesse spécifique est un indice de diversité extrêmement simple qui représente le nombre d'espèces dans une placette. Le tableau 19 ci-dessous représente une richesse $S = 17$ pour la station 1 et $s = 15$ pour la station 2.

419-Indice de Shannon

L'Indice de Shannon évalue à la fois la richesse et l'équitabilité quand les espèces auront une répartition très régulière.

Le calcul de cet indice nous a permis d'obtenir ces résultats $H' = 2.15$ et 2.24 respectivement pour station 1 et station 2 mentionnés dans le tableau 19.

420-Indice d'équarépartition ou équitabilité

La régularité de la distribution des espèces est un élément important de la diversité. Une espèce représentée abondamment ou par un individu n'apporte pas la même contribution à l'écosystème. A nombre d'espèces égal, la présence d'espèces très dominantes entraîne mathématiquement la rareté de certaines autres : on comprend donc assez intuitivement que le maximum de diversité sera atteint quand les espèces auront une répartition très régulière.

Un indice d'équitabilité est indépendant du nombre d'espèces et donc de la richesse.

Les résultats de l'indice d'équitabilité E sont illustrés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Richesse spécifique, diversité maximale et indices de Shannon et d'équitabilité.

	S	H _{max}	H'	E
Station 1	17	2.77	2.15	0.75
Station 2	15	2.70	2.24	0.82

42- Etude diachronique des images satellites

421- Les données de terrain

Les sorties ont une mission de reconnaissance du terrain durant laquelle nous collectons des informations sur la végétation et sur le sol.

La détermination des zones d'entraînement et la confirmation des résultats obtenus.

422-Traitements des images

Dans notre étude nous avons utilisés des images de type ortho-rectifiées donc les corrections atmosphériques, radiométriques et géométriques sont déjà faites. Le seul traitement qu'on a fait est la création de la composition colorée.

423-Création de la composition colorée

La composition colorée est le résultat de la superposition des trois canaux bleu, vert et rouge qu'on les combine afin d'obtenir une image trichrome RVB.

La composition colorée permet d'afficher chacun des trois canaux en nuance de chacune des trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu). Chaque pixel varie par sa saturation. Cela permet alors d'avoir l'affichage superposé des trois informations contenues dans les trois canaux grâce à la synthèse additive à l'écran (KUSTER et al., 2002).

Les compositions colorées sont identifiées par trois chiffres commençant par la composante affichée en bleu, suivie par celle de vert puis par celle du rouge.

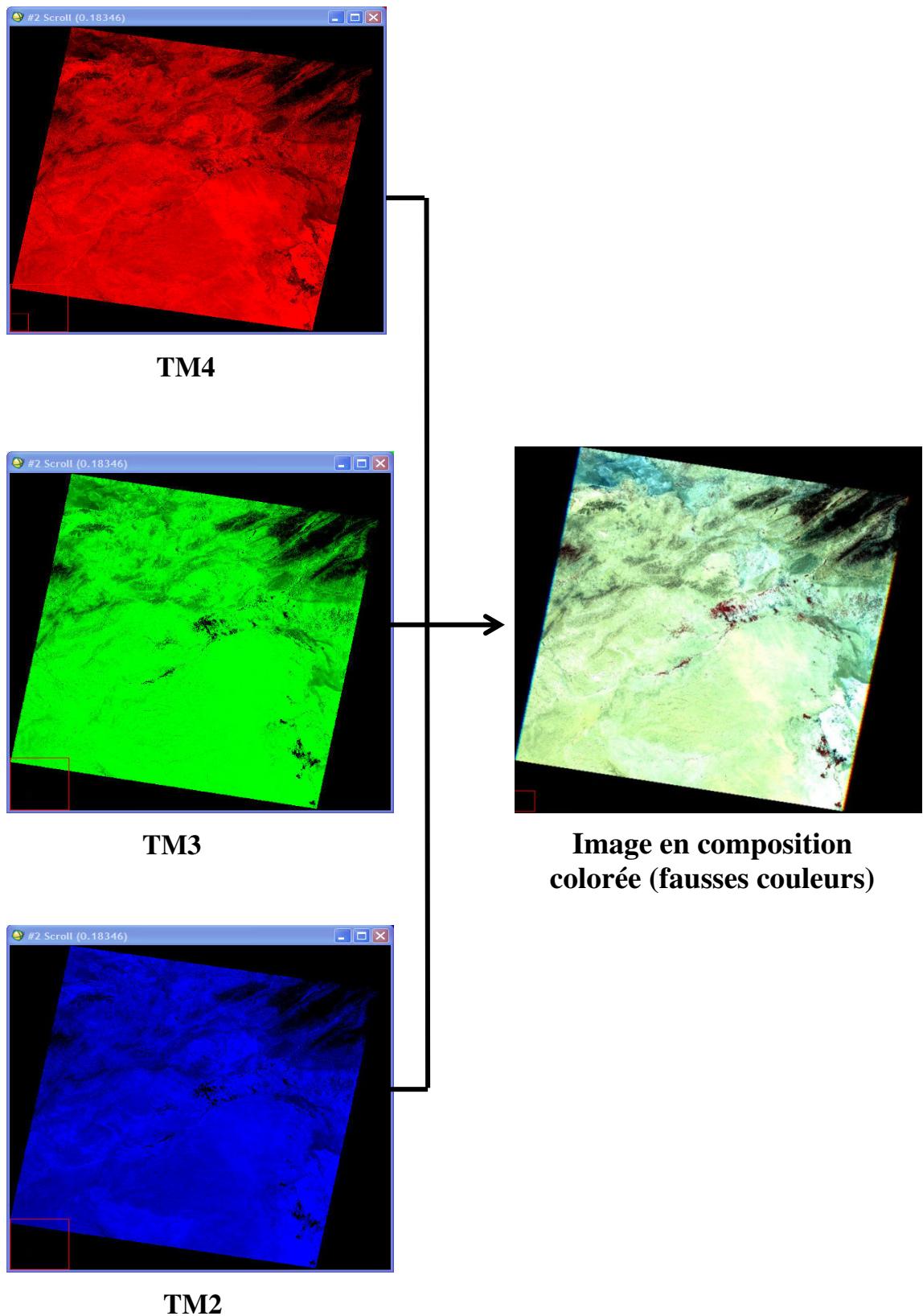


Figure29: Composition colorée fausse couleur de l'"image satellitaire.

La composition colorée TM 4,3 et 2 permet d'affecter la couleur rouge au canal 4 (R), la couleur verte au canal 3 (V) et la couleur bleu au canal 2 (B).

Nous avons choisis la composition colorée trichromie 4 3 2 pour mettre en évidence la végétation.

424-Normalisation

Un modèle linéaire simple visant à décrire la relation entre comptes numériques des deux images aux deux dates a été établi.

$$CN_{1999} = B * CN_{2010} + A$$

D'où CN_{1999} = compte numérique du pixel en 1999

CN_{2010} = compte numérique du même pixel en 2010

Le calcul des coefficients A et B du modèle permet donc de calibrer la valeur radiométrique (compte numérique) du pixel de l'image à corriger 1999 par rapport à celle du pixel homologue de l'image de référence 2010. Cela veut dire que la radiométrie d'un pixel en 1999 est différente à celle du même pixel en 2010 suite à la présence des perturbations liées aux facteurs additifs et multiplicatifs de l'atmosphère et les conditions de prise de vue entre les *deux* dates d'acquisition.

L'estimation des deux paramètres a été effectuée en choisissant sur les deux images des échantillons représentant des objets supposés invariables dans le temps. Le choix est défini de telle sorte que l'échantillon sélectionné sur l'image à corriger doit être le même sur l'image de référence. Pour se faire, nous avons calculé les moyennes d'échantillons représentant le sable. Le résultat est illustré dans le tableau 12 suivant :

Tableau 20 : Moyennes radiométriques des échantillons sélectionnés pour l'estimation de la droite de normalisation atmosphérique.

canal	CN de l'image 1999	CN de l'image 2010
TM3	255	237
	255	246
	255	253
	182	70
	182	118
	187	160
	253	247
	253	176
	249	189
TM4	215	233
	211	243
	219	255
	157	60
	126	115
	110	111
	172	177
	184	148
	200	200

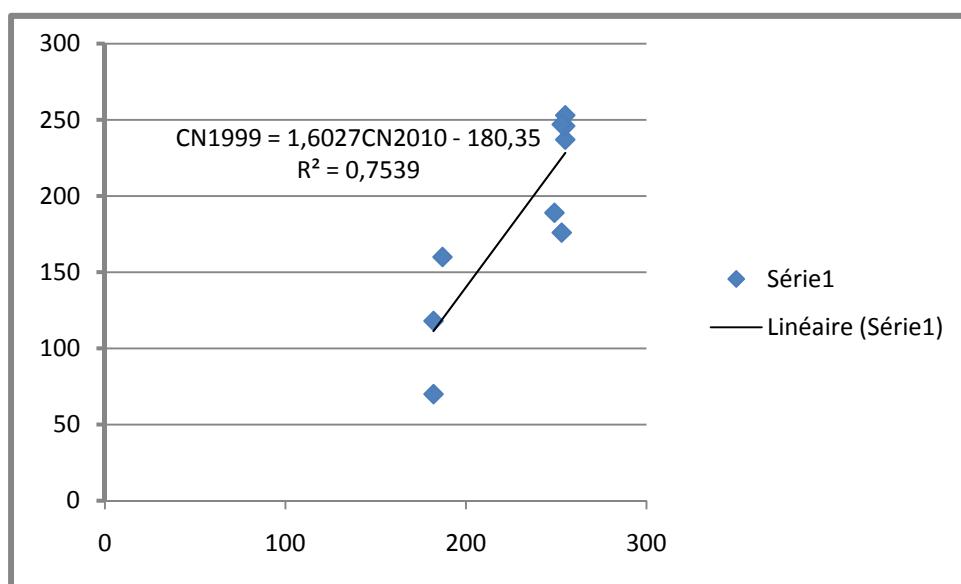


Figure 30: Droite de normalisation du canal TM3.

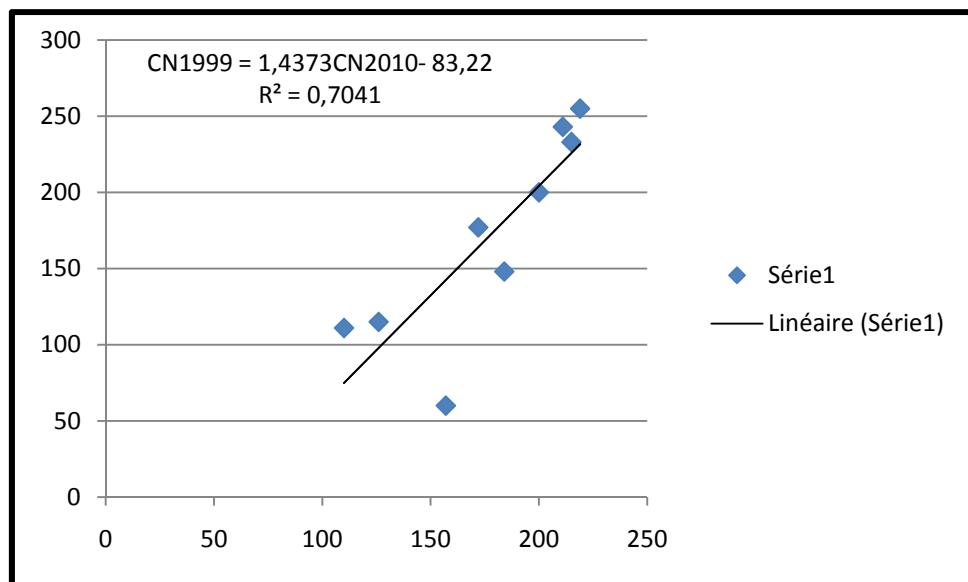


Figure 31: Droite de normalisation du canal TM4

La relation devient donc pour les deux canaux :

$$TM3_{1999} = 1.6027 * TM3_{2010} - 180.35$$

$$TM4_{1999} = 1.4373 * TM4_{2010} - 83.22$$

Ce prétraitement a permis d'avoir comme résultat, la normalisation atmosphérique relative de l'image prise en 1999 par rapport à celle de 2010.

Après la normalisation atmosphérique, nous avons procédé au traitement des images par la production de l'indice de végétation normalisé pour chaque date afin de montrer l'état de la végétation dans la zone d'étude.

425-Masquage

le masquage consiste à cacher une partie de l'image et à conserver intacte l'autre partie (GIRARD et GIRARD, 1999).

Dans notre cas, nous avons travaillés sur une partie de l'image et on a préféré de supprimer l'espace géographique non traité. Pour ce faire on a effectué un découpage de type géométrique sur l'image grâce à la numérisation des limites géographiques de la région d'étude. C'est le masquage géographique.

On note que le masquage est utilisé dans les différentes étapes de la méthodologie de travail.

426-Indice de la végétation NDVI

L'indice de végétation est le rapport de la différence (TM4 – TM3) et la somme (TM4 + TM3) des réflectances dans les bandes spectrales rouge (R) et proche infrarouge (PIR).

Approche empirique pour identifier et suivre l'évolution temporelle du couvert végétal, ainsi que pour évaluer certains paramètres du couvert comme la biomasse aérienne chlorophyllienne, les indices de végétation sont calculés soit à partir de mesures de réflectance sur le terrain, soit de comptes numériques fournis par des données satellitales (GIRARD M. C., 1999).

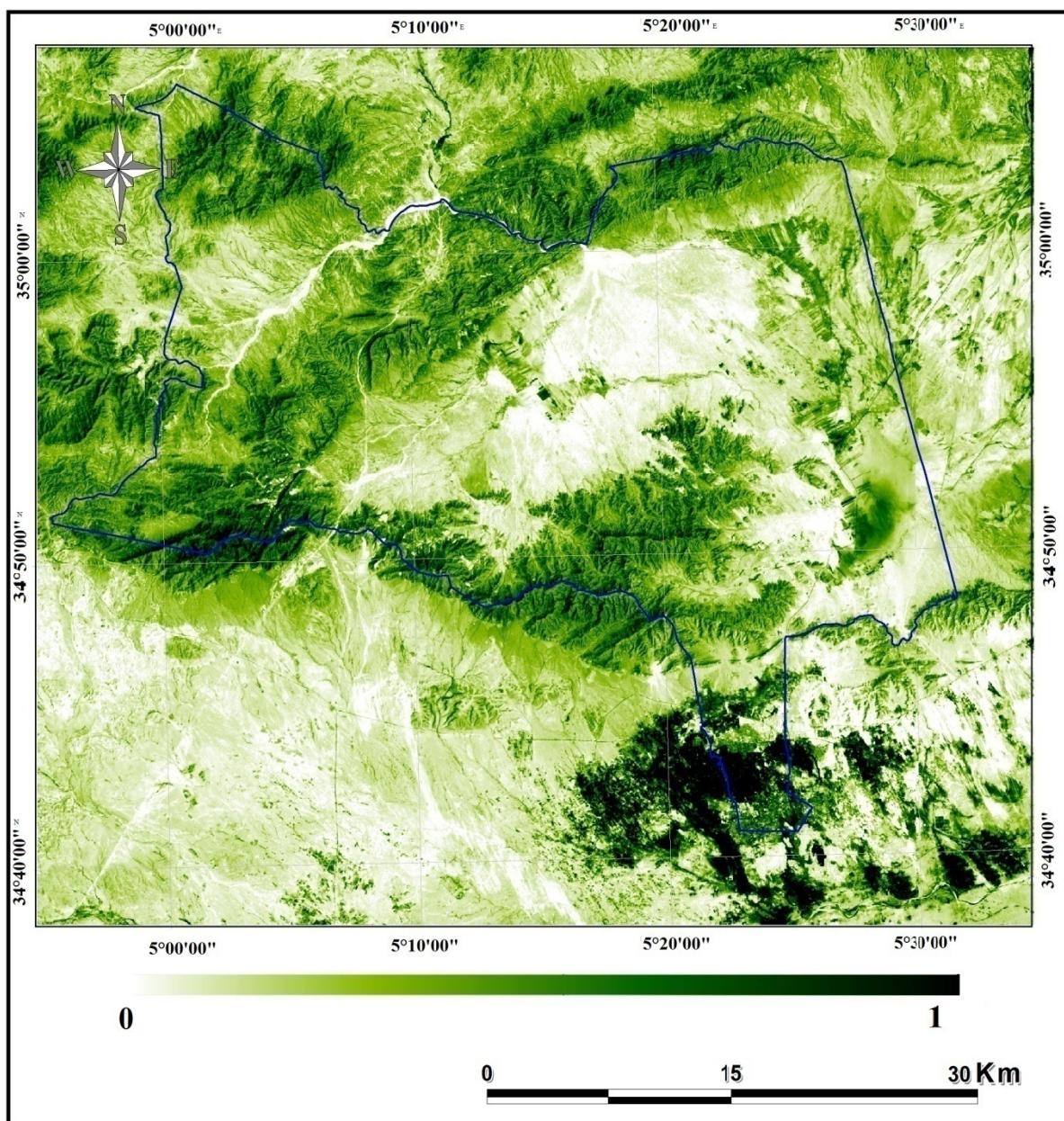
Nous avons établi la carte de NDVI à l'aide du logiciel ENVI. La carte 03 et la carte 04 présentent la carte de NDVI des années 1999 et 2010 respectivement.

L'analyse de l'information à partir de la carte de l'indice de la végétation NDVI se résume.

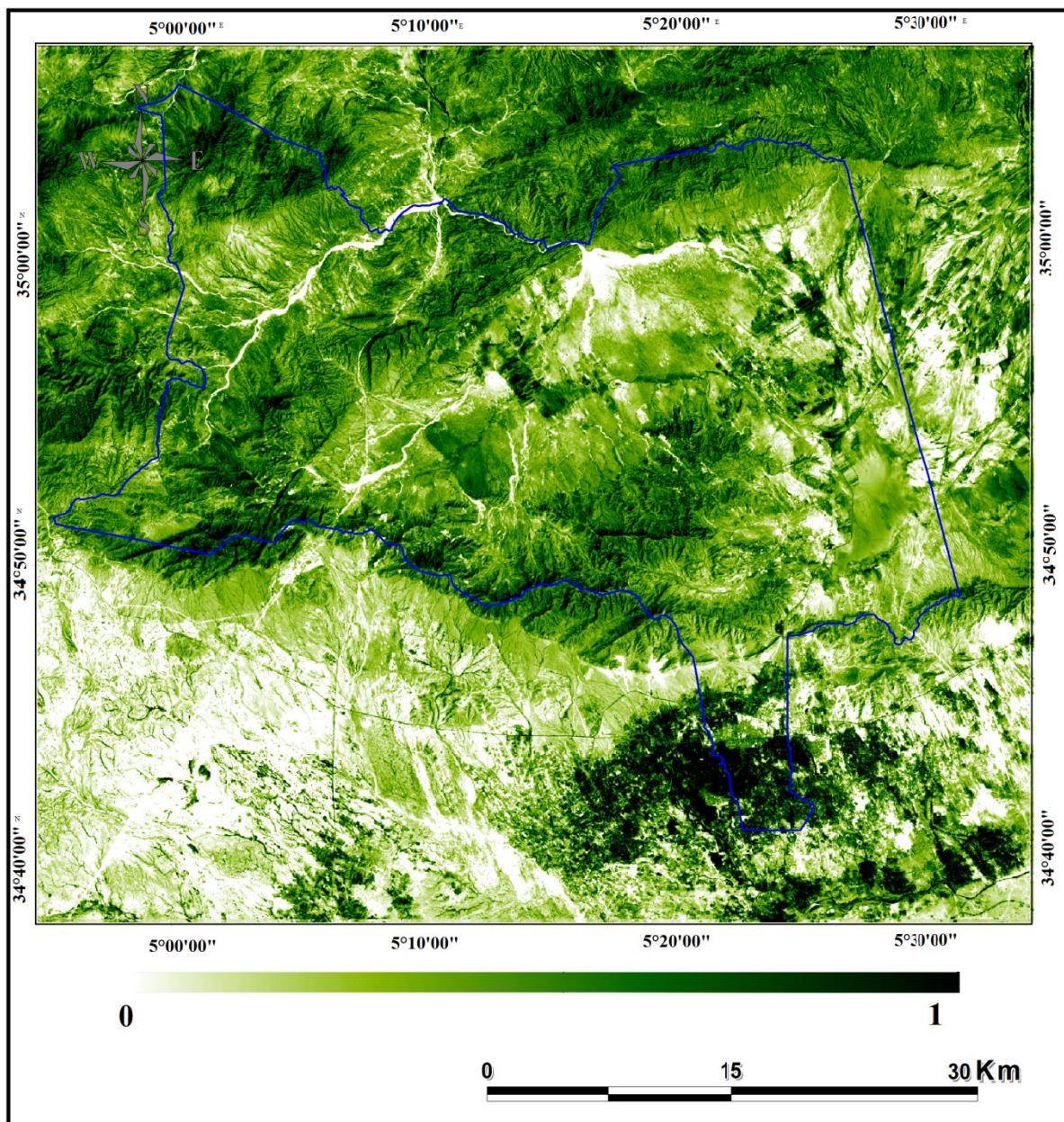
Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, la valeur de chaque pixel étant comprise entre 0 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal). C'est l'analyse de la palette de nuances s'étendant entre ces valeurs extrêmes (très peu fréquentes) qui va renseigner l'observateur sur la densité du couvert végétal et la quantité de biomasse verte. La réponse spectrale d'un couvert végétal dense est forte dans les longueurs d'ondes proche-infrarouge. En effet, un végétal réfléchit d'autant plus le rayonnement proche-infrarouge que son activité chlorophyllienne est élevée. La réponse spectrale d'un couvert végétal dense est faible dans les longueurs d'ondes rouges, alors que la réponse spectrale d'un couvert très clairsemé est inverse (forte influence des minéraux par rapport à l'activité chlorophyllienne).

Aussi le calcul de l'indice NDVI à partir de l'image satellitaire, nous permettons de valoriser le développement durable, comme retenu un indicateur de développement durable par les nations unies.

Un lien assez étroit existe entre les pluies et le NDVI. De nombreux auteurs ont déjà signalé la forte corrélation entre ces deux paramètres.



Carte 3 : Carte NDVI de Tolga en 1999.



Carte 4 : Carte NDVI de Tolga en 2010.

Les cartes montrent que les valeurs de l'indice NDVI varient de 0.11 à 0.28 et sont supérieure de l'année 2010 par rapport l'année 1999 ce qui du à l'importance des précipitations saisonnières printanières et estivales en 2010 par rapport 1999 montré à la figure 3.

Et que les valeurs de l'indice NDVI pour les palmeraies sont supérieures aux valeurs de couvert végétal qui s'explique que l'agrosystème oasien est important par rapport l'écosystème naturel.

427-Classification

Pour notre cas, nous avons adopté une classification dirigée basée sur la méthode du « maximum vraisemblance » qui consiste à assigner chaque pixel à la classe à laquelle la probabilité d'appartenance est la plus élevée (SWAIN, 1978). Les images classées font ressortir un seul thème qui est la palmeraie.

428-Carte des changements

La carte des changements a été établie par la différence entre les deux cartes de l'indice NDVI de 1999 et 2010.

Le principe de cette approche repose sur le calcul, pour chaque date, de l'image d'indice de végétation après avoir amené les images de départ à un même référentiel radiométrique et géométrique (BILDGEN et *al.*, 1990). Il est important de noter que ces indices sont calculés à partir des reflectances.

D'après la carte 05, on observe une progression de la végétation pour l'année 2010 par rapport l'année 1999.

Tableau 21: Résultats obtenus du changement de la végétation.

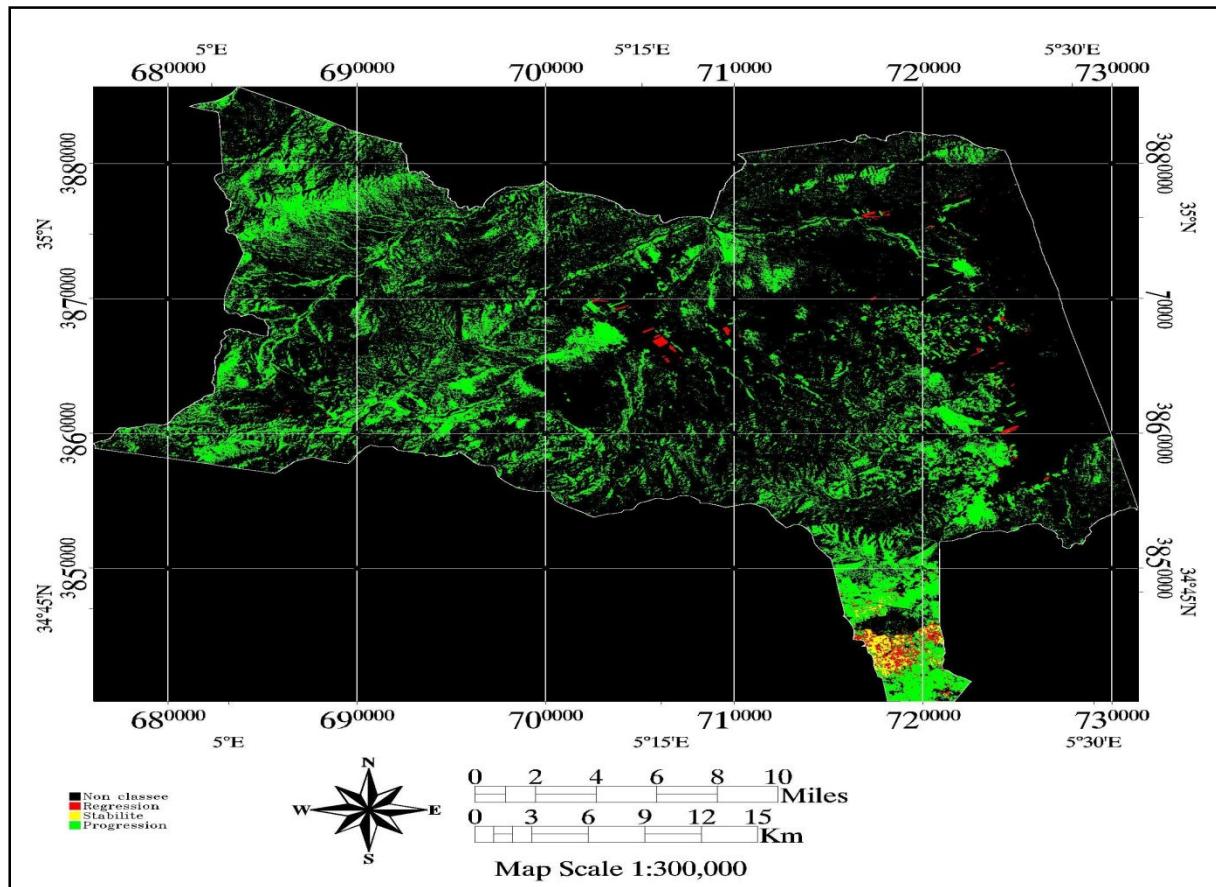
	Superficie en pixel	Superficie en Ha	Pourcentage
Régression	8563	770,67	3,00%
Stabilité	4298	386,82	1,50%
Progression	273114	24580,26	95,50%

A l'ampleur des résultats obtenus à partir de la carte des changements de la végétation (carte 05) et qui sont mentionnés dans le tableau 14, on constate que :

La végétation présente une progression majeure et hautement significative de 95.50 % en 2010 par rapport 1999 avec une régression de 3% et une stabilité de 1.5% qui sont insignifiant.

La progression est due au manque de précipitation au mois de la prise d'image et aux faibles précipitations au deux mois qui précède la prise d'image en 1999, on a marqué une précipitation printanière de 13.9 mm par rapport à celle du 2010 ou le mois de la prise de l'image on a marqué une précipitation de 27.44 mm et une précipitation supérieure au deux mois qui précède avec une précipitation saisonnière en printemps de 54.1 mm.

Et aussi du à l'augmentation de la culture des palmiers dattiers avec une superficie de 1110.42 hectares avec une augmentation des autres cultures par le Plan national de développement agricole (PNDA).



429-Carte des palmeraies

Vue l'importance du palmier dattier dans les Zibans et surtout dans l'oasis de Tolga. On a consacré une partie de notre étude sur le changement de la végétation au changement du palmier dattier entre 1999 et 2010.

Dans notre approche, nous avons introduit les nouvelles technologies de la télédétection sur la phoeniciculture qui est la culture originale et motrice des oasis de Tolga pour avoir leur changement, qui se soit progression, régression ou voir stabilité.

Pour réaliser cette approche, nous avons choisis au préalable des régions ou sites d'entraînement qui s'appelle ROI (*Region of interest*) correspondant à des régions homogènes dont on connaît la nature de l'occupation du sol qui est de palmier dans notre cas. Ces échantillons représentent des régions de références délimitées par des polygones de pixels sur l'image à classer (fig.26 et fig.27).

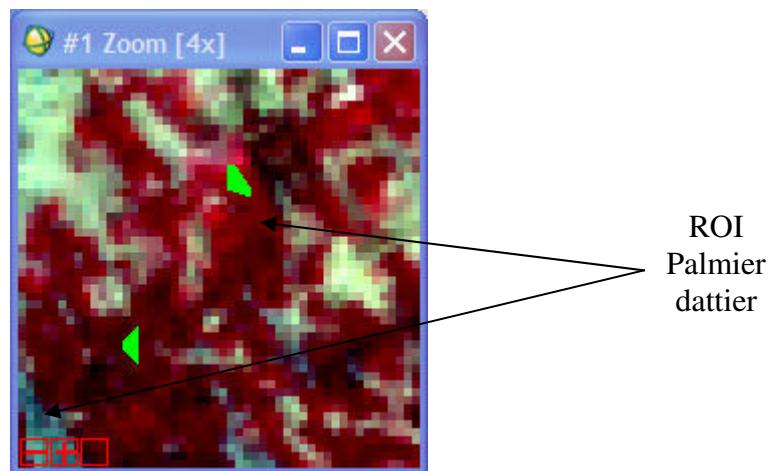


Figure 32: Régions d'intérêts sélectionnées sur l'image satellitaire de 1999 (ROI).

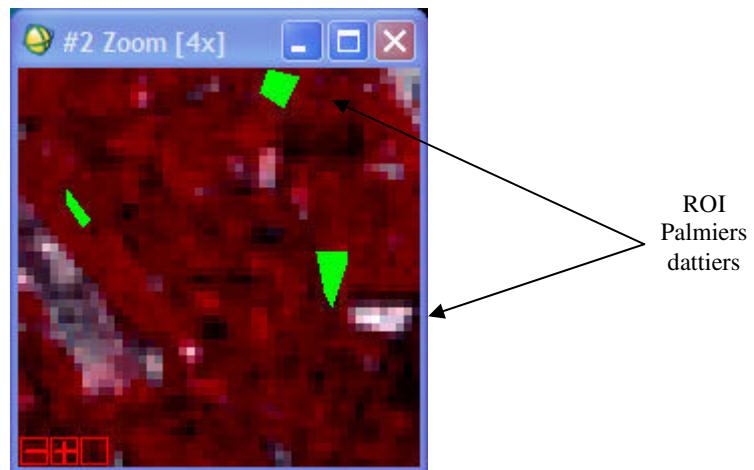


Figure 33: Régions d'intérêts sélectionnées sur l'image satellitaire de 2010 (ROI).

Après le choix des régions d'intérêt ROI, on à procéder à la classification supervisée basée sur la méthode du « maximum vraisemblance » pour les deux dates et on a ressorti avec un seul thème qui est le palmier dattier (Carte 06 et Carte 07).

Tableau 22: Nombre de palmiers et leur superficie de Tolga.

Année	1999	2010
Nombre de palmiers	209000	295500
Superficie e Ha	1741,67	2462.50

Source : DSA Biskra, 2010

Tableau 23: résultats obtenus de la carte des palmeraies de Tolga.

Année	1999	2010
Superficie en Pixel	16916	29254
Superficie en Hectares	1522.44	2632.86
Nombre de palmiers	182692.80	315943.20

Suivnt les résultats obtenus (tableau 16), on constate que la superficie des palmiers dattiers en 1999 est de 1522.44 hectares et 2632.86 hectares en 2010. C'est à dire une augmentation dans la culture de palmiers dattiers de 1110.42 hectares.

Et selon les statistiques de la DSA de Biskra, la superficie des palmiers dattiers en 1999 est de 1741.67 hectares et 2462.50 hectares en 2010. C'est à dire une augmentation dans la culture de palmiers dattiers de 720.83 hectares.

D'après ces résultats, on constate qu'il y a une différence de 219.23 hectares en 1999 et 170.36 hectares en 2010 cette différence qui n'est pas significante par rapport la superficie totale ce qui montre bien l'utilité de la télédétection et particulièrement l'image satellitaire dans le calcul des statistiques agricoles.

L'interprétation accomplie a permis de fournir une cartographie thématique très fine (HADDOUCHE et al., 2004).

Aussi, les résultats obtenus, fait apparaître une variation de la végétation en général et de la phoeniciculture dans l'espace et dans le temps. Cette variation dépend des conditions climatiques notamment la précipitation, on a illustré une quantité de pluie de 13.90 mm et 54.10 respectivement pour l'année 1999 et 2010 ce qui exprime le changement de progression de 95.15 enregistré. Et des conditions naturelles du milieu surtout pédologique, ainsi que la dynamique hydro agricole, la mise en valeur des terres. Ces résultats ont montré aussi l'extension des superficies cultivés en palmier dattier cette augmentation est due notamment au plan national de développement agricole (PNDA).

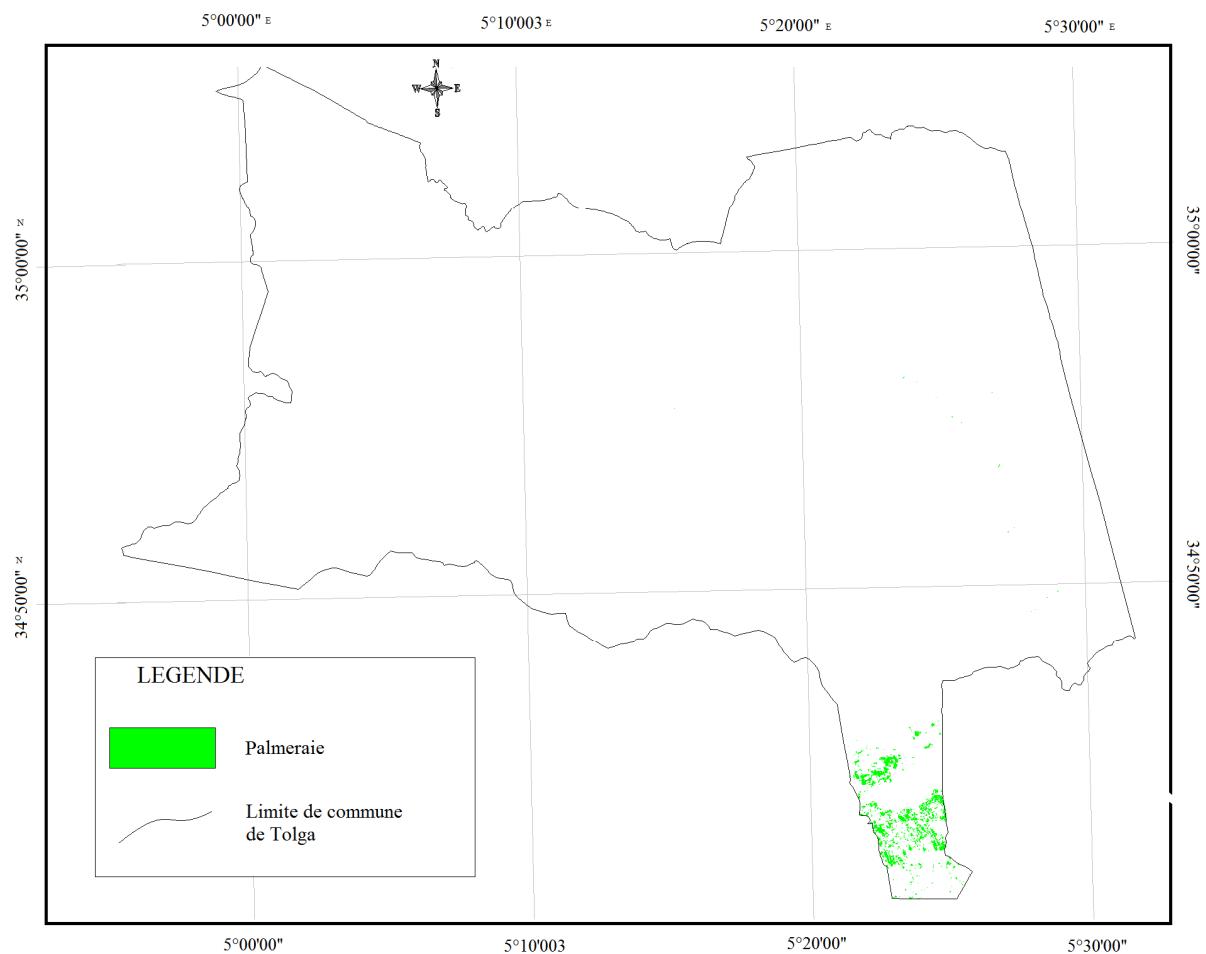
Concernant l'approche utilisée dans notre étude, on remarque une correspondance entre les résultats obtenus pour la phoeniciculture et les résultats de la direction des services agricoles.

La superposition des trois canaux du thématique mapper (TM4-TM3-TM1), corrigés géométriquement, les classifications supervisées effectuées sur les images bi-dates (HADDOUCHE et al., 2004), ainsi les indices de végétation NDVI (carte 04 et carte 05) par leur croisement (carte 06 et carte 07) ont montré clairement qu'il y a eu une progression très importante parvenue durant la décennie (1999-2010), ceci est du à l'évolution du couvert végétal provoqué, notamment, par la quantité de pluie

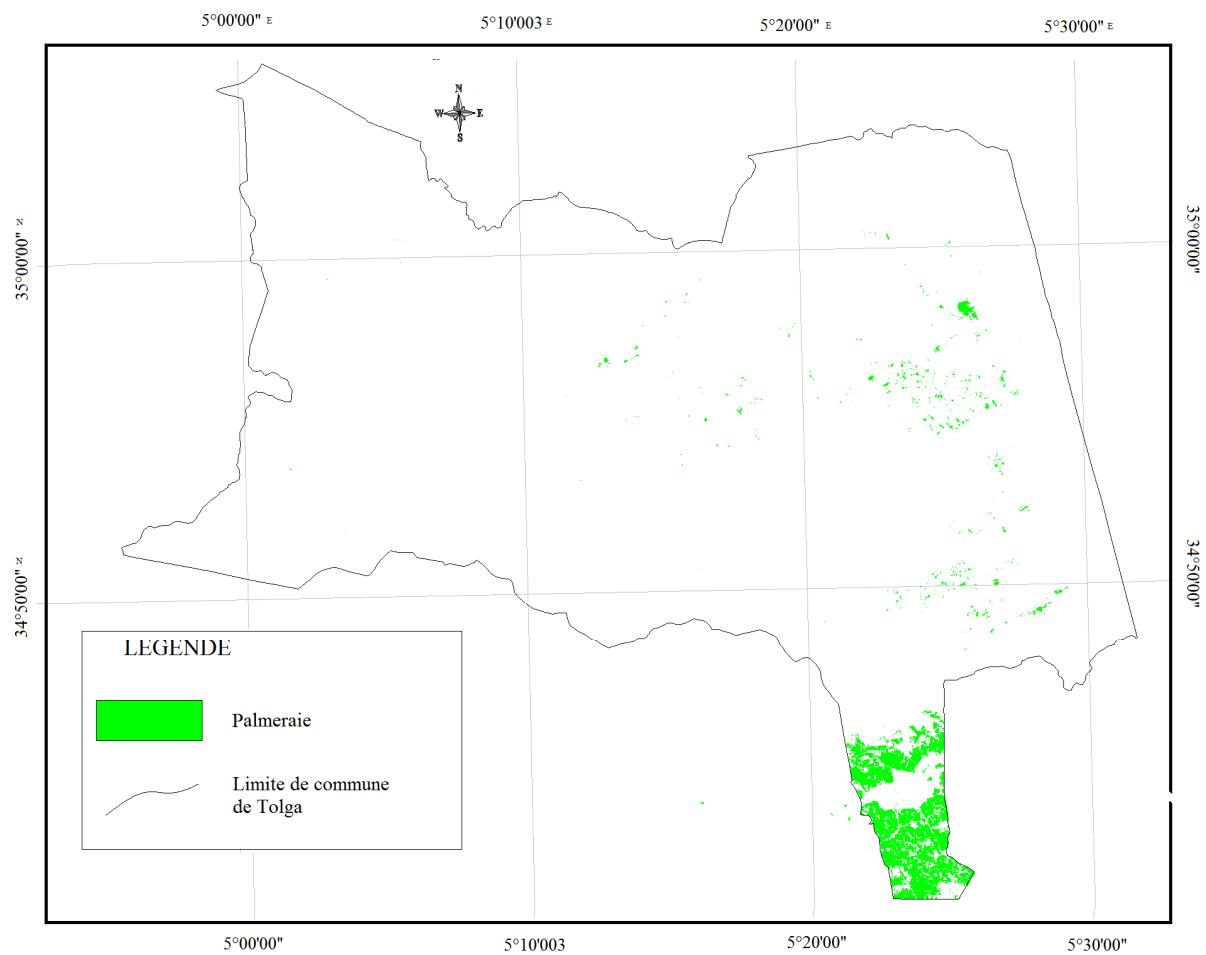
enregistrée et à l'évolution de la superficie cultivée et particulièrement par la phoeniciculture (système d'oasis), le très adéquat au régions arides et sahariennes.

Les cartes de changements réalisées nous ont permis de :

- De suivre la dynamique de la végétation et de déterminer le type du changement (progression, régression, stabilité) ;
- Estimer les superficies des changements ;
- Localiser les palmeraies et estimer leurs superficies.
- Outil d'aide à la décision.



Carte 6 : Carte des palmeraies de Tolga au 1999.



Carte 7 : Carte des palmeraies de Tolga au 2010.

Conclusion

A l'issue de cette étude, nous avons pu avoir une connaissance sur les variations spatio-temporelles du changement du couvert végétal dans les Zibans et particulièrement dans les oasis de Tolga.

L'étude ainsi que la surveillance de la végétation est aujourd'hui possible grâce à l'imagerie satellitaire qui s'avère être un outil indispensable dans la détection et le suivi de certains phénomènes et aléas environnementaux susceptibles de nuire à l'équilibre des écosystèmes et permet aux décideurs de répondre au besoin incessant en informations permanentes et crédibles dans les meilleurs délais.

La télédétection est un moyen d'inventorier, de surveiller, de gérer les ressources naturelles et permet d'établir des scénarios d'aménagement.

La télédétection permet de minimiser les coûts et d'élargir l'étendue spatio-temporelle par rapport aux moyens classiques.

L'analyse des données climatiques sur une période de 12 ans nous a permis de confirmer les caractéristiques générales du climat de notre région d'étude; il s'agit pour celle-ci d'une région à climat de type méditerranéen avec une longue période sèche. Appartenant à l'étage bioclimatique saharien à hiver tempéré, avec une pluviométrie annuelle d'environ 133 mm.

L'analyse floristique nous a permis d'identifier une diversité biologique importante de 63 espèces appartenant à 28 familles dont moitié d'espèces vivaces et la moitié d'espèces éphémères avec des types biologiques dominés par les chamaephytes et ensuite les therophytes.

L'utilisation d'une étude diachronique basée sur l'exploitation des données satellitaires multi dates (1999 et 2010) du capteur Thematic Mapper de Landsat nous a permis

l’obtention d’un ensemble de cartes photo interprétatives et des indices de végétation qui, à leur tour, nous ont aidé à apercevoir les changements parvenus dans le milieu, copieusement régressifs que progressifs (HADDOUCHE et al., 2004).

L’analyse de NDVI nous a montré un couvert végétal marqué par une progression nettement significative de 95.50 %, c’est dû aux conditions pluviométriques naturelles et aux dynamiques hydro-agricoles dans la région (augmentation de la superficie agricole totale).

En ce qui concerne la culture de palmier dattier, ce travail montre une progression de 1110.42 hectares un chiffre qui confirme les données de la direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Biskra.

Dans cette étude, l’imagerie satellitaire nous a permis d’estimer les superficies et le nombre de palmier dattier.

Et aussi, nous a permis de connaître l’état des écosystèmes pour les protéger et faire un développement durable et équilibré.

Cependant, le travail réalisé constitue une première approche dans l’utilisation intégrée de la télédétection, sur une zone des oasis sahariens algériens pour l’appréhension des écosystèmes et pour leur suivi.

Pour la continuité de ce travail, on propose l’élaboration d’un système d’information géographique (SIG) dédié à la gestion des données agricoles et notamment les palmeraies qui présentent un grand intérêt écologique et socio-économique.

Références bibliographiques

ABOURIDA A., 2007. Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection, isotopie, SIG et modélisation. Thèse Doctorat Université Cadi Ayyad Marrakech, 53 pages.

AGHOUTANE M., 2006. Télédétection spot HRV et changement d'échelle en milieu forestier : cas du site de Sidi Amira foret de Maamora, Maroc. Mémoire ingénieur, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat.

ALCARAZ L., 1982 – La végétation de l'Ouest Algérien. Thèse. Doct. Univ. Perpignan.415p.

ANAT, Agence Nationale d'Aménagement de territoire, 2002. Schéma directeur des ressources en eau. Wilaya de Biskra. Rapport de synthèse. 100 pages.

ANAT, Agence Nationale d'Aménagement de territoire, 2003. Schéma directeur des ressources en eau. Wilaya de Biskra, Dossier agropédologique, 114 pages.

ANRH, Agence Nationale des Ressources Hydriques, 2000. Etude sur modèle mathématique de système aquifère de la région de Biskra. Wilaya de Biskra, 55 pages.

ARRAR A., 1989. *Current Issues and Trends in Irrigation with Special Reference to Developing Countries, In: "Resource Conservation and Desertification Control in the Near East, Report of the International Training Course,* DSE, FAO, GTZ, UNESCWA, Germany and Kingdom of Jordan.

ASAL et DGF, Agence Spatiale Algérienne et Direction Générale des Forêts, 2010. Carte de sensibilité à la désertification de la wilaya de Biskra.

BAGNOULS F., GAUSSEN H., 1953. Saison sèche et indice xéothermique. Bull.Soc.Hist.Toulouse, 193-239.

BARBERO M., LOISEL R. et QUEZEL P., 1990. Les essences arborées des îles méditerranéennes : leur rôle écologique et paysages. Rev. Ecol. Med. XXI (1/2).

BENSAID A., 1997. Traitement des données multisources et conception d'une base de données dans un SIG en vue de la caractérisation d'un milieu physique : application à une zone steppique au nord de Laghouat. Thèse de magister, CNTS Arzew, 122 pages.

BENSLIMANE M.; HAMIMED A.; EL ZEREY W.; KHALDI A. et MEDERBEL K., 2009. « Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8 Numéro 3, décembre 2008, [En ligne], mis en ligne le 18 février 2009. URL : <http://vertigo.revues.org/index6782.html>. Consulté le 03 décembre 2009.

BILDGEN P. ; GILG J. P. ; BOULEGUE J. et MABRUT K., 1990. Utilisation des données spectrales MSS TM et SPOT exprimées en valeurs de reflectance exo-atmosphérique pour l'étude diachronique de l'évolution des sols, des zones d'exploitation minière ou du couvert végétal. Deuxième journée de télédétection de Bondy, Paris 4-6 Décembre, 7 pages.

BONN F. et ROCHON G., 1992. Précis de télédétection. 1 : Principes et méthodes. Presses de l'université de Québec/AUPELF. 485 pages.

CCRS et CCT, Centre Canadien des Ressources Naturelles et Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/>

CCT, 2005. Centre Canadien de Télédétection, 2005.

CHAABANE A., 1993. Etude de la végétation du littoral septentrional de la Tunisie : Typologie, Syntaxonomie et éléments d'aménagement. Thèse. Doct.Es. Sci. Univ. Aix

Marseille III : 338p.

CHEHMA A., 1987. Contribution à la connaissance du dromadaire dans quelques aires de distribution en Algérie. Mémoire d'ingénieur INA Alger, 83 pages.

CHEHMA A., 2005. Etude floristique et nutritive des parcours camelins du sahara septentrional algérien. Cas des régions de Ouargla et Ghardaïa. Thèse Doctorat Université Badji Mokhtar Annaba. 144 pages.

CRTS, Centre Royal des Techniques Spatiales, 2004. Programme APPUIT. Appui à la promotion de la télédétection au Maroc. Projet FORMA. Gestion de la forêt marocaine. Action : Suivi global de la végétation et de ses changements à l'échelle nationale. Rapport technique et scientifique.

DAGET Ph., 1980. Sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative, cas des théophytes. In « Recherches d'écologie théorique ». Les stratégies adaptatives. Barbault De. R. , Baldin P. et Meyer J.A. (1986). Maloine. Paris. pp : 89-114.

DAJOZ, 1970. Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris. 357 pages.

DAJOZ, 1985. Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris. 505 pages.

DANIN A. ET ORSHAN G., 1990. *The distribution of Raukaiers life froms relation to the environment. Journal of vegetation science* 1. Pp 41-48.

DESHAYES M. et MAUREL P., 1990. L'image spatiale et son contenu. Options méditerranéennes. Série A, n° 4, pp.11-20.

DJELLOULI Y., 1981. Etude climatique et bioclimatique des Hauts Plateaux du Sud-Oranais (Wilaya de Saida). Thèse doct. 3ème Cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumédiène, Alger, 178 p. + ann. Et cartes.

DOS SANTOS G., 2001. Classification automatique à partir de photographies aériennes. Rapport de maîtrise, Université de Pau, 70p.

DPAT, Direction de Planification et d'Aménagement du territoire, 2010. Monographie de la wilaya de Biskra de 2009.

DSA, Direction des Services Agricoles, 2010. Statistiques agricoles, Direction des services agricoles de la wilaya de Biskra.

DUBIEF J., 1952. Essai sur l'hydrologie superficielle au sahara. Ed. Service des études scientifiques, Alger, Tome VIII, pp. 123-163.

DUBIEF J., 1953. Le vent et le déplacement du sable au sahara. Ed. Inst. Rech. Sah., Alger. pp. 26-103.

DUBIEF J., 1959. Le climat du sahara. Edition Inst. Rech. Sah., Alger, Mémoire hs. Tome I, 307 pages.

DUBOST D. et LARBI Y., 1998. "Mutation agricole dans les oasis algériennes: l'exemple des Ziban" in cahier sécheresse, n° spécial oasis vol.9, n° 2 juillet 1998.

DURRIEU S., 1994. (in Benhanifia. K et al., 2004), Utilisation de la Télédétection satellitaire pour la mise à jour de la carte des types de peuplement de l'inventaire forestier national, Thèse de Doctorat, ENEFREF. 202 p.

EMBERGER L., 1942 – Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. Bull. Sci. Hist. Nat. Toulouse, 77 : 97-124

ESCADAFAL R., 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection applications : exemple de la région de Tataouine

(Tunisie). Ed OROSTOM. Inst. Fran.Rech. Scien. Dévl. Coop. Collect. ETUDES et THESES. Paris. 317 p.

FLORET C., GALAN M.J. Le FLOCH E., ORSHAN G. et ROMANE F., 1992.
Dynamics of holm oak (*Quercus ilex L.*) coppices after clear cutting in southern France. Vegetation. pp : 99-100.

GARDI R., 1973. Sahara. Edition kummerly et frey. Paris 3eme edition. Pp. 49-51.

GAUSSEN H., 1961. A propos des diagrammes climatiques. Erdkundc (Bonn), vol. XV, pp. 73-75.

GAUSSEN H., 1963. Ecologie et phytogéographie. Abbayes. pp : 952-972.

GIRARD M. C. et GIRARD M.C., 1999. Traitements des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 pages.

GIRARD M. C.; WALTER C.; REMY J. C. ; BERTHELIN J. et MOREL J. L., 2005. Sols et environnement. Dunod, Paris.

GOUNOT M., 1969. Méthodes d'étude quantitatives de la végétation. Edition Masson, Paris. 314p.

GUINOCHE M., 1973. Phytosociologie. Edition Masson & Cie, Paris. 228 p.

GUYOT G., 1999. Climatologie et Environnement, DUNOD ,2eme édition, pp525

HADDOUCHE I. ; MEDERBEL K. ; SAIDI S. et BENHANIFIA K., 2004.
« Caractérisation d'une région steppique par télédétection cas de la région de Mecheria, Algérie », Université de Tlemcen, Algeria, 09 pages.

HANAFI M. T. et CHAMMAH N., 2010. La dégradation des milieux arides par l'ensablement des monts occidentaux des Zibans Ouest. Thes. Ing. Univ. Biskra. 92pages.

HIRCHE A., 1995. Contribution à l'étude de l'apport de l'image satellitaire à l'inventaire Cartographique et phytoécologique d'une zone pré-saharienne, cas de Ouled- Djellal. Thèse Mag. Univ. Sci.Thechnol. H. Boumediène, 230 pages.

<http://www.tutiempo.net/>

KADI HANIFI-ACHOUR H., 1998. L'alfa en Algérie : Syntaxonomie, relation : milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenirs. Thèse. Doc. Uni. Sci. Technol. H. Boumediene. 267 pagges.

LEG G., 1992. *Remote sensing and geographic information systems. Geological mapping, mineral exploration and mining.* Ed. Ellis Horwood. England. 166 pages.

LILLESAND T. M. et KIEFFER R.W., 1994. *Remote sensing and image interpretation. 3rd Edition*, John and Wiley, 750 pages.

LONG G., 1975. Diagnostique phyto-écologique et aménagement du territoire : principes généraux et méthodes. Masson et Cie. Paris, tome, pages.

LONGO H F. ; CHEHMA A. et OULAD BELKHIR A., 1988. Quelques aspects botaniques et nutritionnels des pâturages du dromadaire en Algérie. Option méditerranéenne : séries séminaires, n° 2, 1989, pages 47-53.

MASSON. et RANNOU., 2001-2002. L'image satellitaire : Principes et exemples d'application en agriculture, TPE. Terminales. 19 pages.

MEDERBEL K., 1992. Compréhension des mécanismes et évolution spatio-temporelle des nappe alfatières à l'aide de l'image satellitaire: cas des régions

d'Elbayadh et Djelfa (Algérie). Séminaire 26-27 fevrier1991, ITA, Mostaganem, 12 pages.

MONOD T., 1992. Du désert. Sècheresse, 3(1). pages 7-24.

NEGRE R., 1966 – Les thérophytes. Mem. Soc. Bot. F1. pp : 92-108

ONM, 2010. Office National de la Météorologie, 2010.

OZENDA P., 1982. Les végétaux dans la biosphère. Doin éditeurs. Paris.

OZENDA P., 1991. Flore de sahara (3^{eme} édition mise à jour et augmentée) Paris, Edition du CNRS. 662 pages + cartes.

PERARNAD V. et RAYNAL N., 1996. Cours et manuels n° 4, agrométéorologie, Météo, France, 181pages.

QUEZEL P. et SANTA S., 1962-1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S. Paris. 2 vol. 1170 pages.

QUEZEL P., 2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb Méditerranéen. Ibis Press. Paris. 117 pages.

RAUNKAIER C., 1905. Biological type with reference to the adaptation of plants to survive the unfavorable season. In Raunkiaer, 1934. pp : 1-2

RAUNKAIER C., 1934. The life forms of plants and statistical plant. Geography. Clarendon press. Oxford. 632p. the unfavorable season. In Raunkiaer, 1934. pp : 1-2.

ROBIN M., 1998. La Télédétection. Nathan, Paris, 318 pages.

RONDEAUX G.; STEVEN M. et BARET F., 1996. *Optimization of soil-adjusted vegetation indices. Remote sensing of environment*, vol.55, pages 95-107.

ROUSE J. W.; HAAS W. J.; SHELL A.; DURING D. W. et HARLAN J. C., 1974.
Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFCT type III, Final report, Greenbelt MA, 164.

SADKI N., 1988. Contribution à l'étude des groupements à olivier et lentisque de la région d'Annaba. Thèse de Magister, Univ. Sci. Technol. H .Boumediene, Alger, 213 pages.

SALVAUDON A., 2006. Suivi de la végétation. Parc national des Cévennes.
<http://inpn.mnhn.fr/inpn/fr/partenaires/CBN.htm>

SCANVIC Y., 1983. Principes de la télédétection. Applications possibles en matière de l'aménagement. INRA. Montpellier, 20 pages.

SHLIEN, S., 1997. *Geometric correction, registration and resampling of Landsat imagery*. In. *Canadian journal of remote Sensing*. pp. 55-59.

STEWART P., 1969. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique, quelques réflexions. Bull. Soc. Hist. Afr. du Nord, pp 24-25.

SOUDANI KAMEL, 2005. Cours Télédétection ECO. Laboratoire d'Ecophysiologie Végétale, Université Paris-Sud XI- 91405 Orsay, France.

kamel.soudani@ese.u-psud.fr

SWAIN P.H. et DAVIS S. M., 1978. *Remote sensing : The quantitative approach*. Mc Graw- Hill. New York, 395 pages. 120.

THOMAS D. S. G., 1995. *Desertification: Causes and processes*, In: *Encyclopedia of Environmental Biology*, Vol. 1, ed. W. A. Nierenberg, San Diego, Academic Press, 463-473.

UNESCO, 1960. Les plantes médicinales des régions arides. Recherches sur les zones arides, Paris. 99 pages.

SKOURI M., 1990. "Les systèmes agricoles oasiens: éléments de synthèse et conclusions" p.333 in Options Méd. Op.cit

MCD., Ministère de la coopération et du développement, 1992. (France) "Mémento de l'agronome" coll. Techniques rurales en Afrique, p.882, 1992 Paris.

Annexe 1

Tableau 1 : Pluviométrie (en mm) moyenne mensuelle de la période 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cumul
1999	66,8	1,8	3	3,3	7,6	5,2	0	4,2	8,8	12,3	44,3	35,7	193
2000	0	0	2,5	5,1	15,8	0	0	0	27,4	4,4	1,4	7,9	64,5
2001	38,3	0,4	0	0	0	0	0,1	9,2	2,3	4	19,6	14,9	88,8
2002	0,5	0,1	0,7	1,9	0,9	3,3	2,5	4,8	0,6	11,9	18,8	1	47
2003	76,8	1,5	4,1	4,5	2,9	2,1	0,1	TR	6,5	40,7	4,6	13,1	156,9
2004	1,5	0,6	91,1	67,9	48,9	1,6	0	3,2	4	6	32,6	36,7	294,1
2005	0	18	3,5	0	0	2,5	2,6	2	7,2	0,7	15,7	6,6	58,8
2006	53,7	29	1	13,5	11,5	0,2	0	0,7	16,2	9	28,4	9,8	173
2007	0	2,9	10,9	22,1	1,5	0,4	0	0,1	36,1	3	0,1	2,2	79,3
2008	4,1	0,5	1,4	0	21,1	0	0	0,5	18,1	40	0	32,7	118,4
2009	48,9	11,4	16	12	15,7	0	4	0	47,7	0	0,3	13,8	169,8
2010	0	17,78	23,87	30,23	7,11	27,44	0	4,06	12,19	13,97	44,45	2,03	183,13

Tableau 2 : Température (en °C) moyenne mensuelle de la période 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1999	11,7	12,2	16,8	21,8	29,1	33,8	34,1	36,2	30,3	25,3	15,8	11,5
2000	9,3	13,7	17,7	22,1	28,7	30,6	34,1	33,1	29	21,8	16,8	13
2001	11,6	13,3	21	21,1	26,3	32,5	35,9	34,1	29,9	26,5	17	11
2002	10,5	14,5	19	21,4	26,3	31,8	34,2	33,2	28,8	23,1	17,3	13,9
2003	11,8	11,9	16,3	21,4	26,9	32,4	36,4	34,4	28,9	24,3	17,3	11,9
2004	12,8	14,8	17,3	19,6	23	30,1	33,3	34,7	28,3	24,5	15,5	12,3
2005	10	10,7	17,8	21,8	27,9	31,7	35,9	33,6	28,5	24	16,7	10,8
2006	9,9	12	17,7	23,2	28,4	31,6	34,4	33,8	27,3	24,6	16,9	13
2007	12,2	15,5	16,4	20,3	26,6	34	33,6	34,2	29,1	24	10,9	12,6
2008	12,1	13,7	17,8	22,5	26,5	30,7	36,1	34,4	29,4	22,3	15,2	10,8
2009	11,9	12	15,9	18,5	26,2	32	35,8	34,7	27,1	22,9	16,8	13,1
2010	12,6	14,6	18,3	22,1	24,4	31,1	35,2	34,4	28,7	22,5	16,6	

Tableau 3 : Température (en °C) maximale moyenne mensuelle de la période 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1999	16,2	17,5	22,9	28,2	25,3	40,3	40,4	36,2	30,1	30,8	20,7	16,3
2000	15,6	20,6	24	28	34,5	36,6	40,4	39,9	34,7	27,2	22,6	19
2001	17,1	19,5	27,5	27,3	32	39	42,3	40,3	35,4	32,7	22,3	16,1
2002	16,9	21,6	25,3	27,5	32,2	38,1	40,6	38,9	34,4	29,1	21,7	19,3
2003	16,2	16,8	22,1	27,4	33,1	38,7	43	40,7	34,5	29	22,4	16,7
2004	18,6	21,2	23,1	25	28,5	36,4	39,7	40,8	34,5	30,9	21	17
2005	16	15,9	23,6	27,5	34,5	37,8	42,3	40,2	34	29,5	22,2	16
2006	14,8	17,3	23,9	29,3	34,8	38	40,8	40,1	32,7	31,3	22,8	17,8
2007	19	20,8	22,3	25,8	32,7	39,5	40	40,3	34,9	28,9	21,8	18,1
2008	18,7	19,9	24	29,2	32,3	36,7	42,5	40,6	34,9	27,1	20,4	15,8
2009	16,5	18	22,6	24,7	32,9	38,4	42,7	40,9	32,7	29	23,8	19,2
2010	18,2	20,1	23,7	28	30,2	37,5	41,4	41,1	34,5	28,4	22,1	18,1

Tableau 4 : Température (en °C) minimale moyenne mensuelle de la période 1999-2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1999	7,8	6,9	10,7	15,1	22,3	26,7	27,5	29,8	24,3	19,8	11,8	7,6
2000	4,2	7,4	11,3	16	22	24	27,4	25,8	22,9	16,6	11,9	7,9
2001	6,6	7,7	14,3	14,7	20,2	25,5	29,2	27,8	24,5	20,7	12,5	6,9
2002	5	8,3	12,6	15,1	19,7	24,7	27,5	27,2	23	17,1	12,8	9,5
2003	7,8	7,1	10,7	15,5	20,6	25,4	29,3	27,8	23,5	19,8	12,8	7,7
2004	7,8	9,1	11,7	14,5	17,5	23,3	26,6	28,5	22,2	18,7	10,6	8,6
2005	4,9	6	12,1	15,9	20,9	25,6	29,1	27,2	22,9	18,6	11,8	6,7
2006	5,7	7,4	11,7	17	22,2	24,8	27	27,7	21,3	18,2	12,1	9,3
2007	6,5	10,4	10,7	14,5	19,7	25,9	26,8	27,9	23,4	19,1	10,9	8
2008	6,4	7,9	11,8	15,6	20,8	24,1	29,7	28,1	23,9	18	10,6	6,8
2009	8,1	6,2	9,8	12,6	19,1	24,7	28,2	28,3	21,4	17,1	11,1	7,8
2010	5	9	12,7	15,5	18,2	24,4	28,2	27,9	23,2	16,7	12	7,4

Tableau 5 : Pluviométrie (en mm) moyenne saisonnière de la période 1999-2010.

Saisons	Hiver			Printemps			Eté			Automne		
	Mois	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
1999	104,3			13,9			9,4			65,4		
2010	19,81			54,1			27,44			56,64		

Annexe 2

Aire minimale : Dans un secteur homogène, on délimite un carré de 1m² au moyen de 4 piquets et d'une corde. On compte le nombre d'espèces présentes dans ce carré. On double sa surface (1m x 2m = 2m²) et on compte le nombre d'espèces nouvelles. On double encore ce carré (2m x 2m = 4 m²) puis (4m x 2m = 8m²) et ainsi de suite. On trace ainsi la courbe aire/ espèces (en abscisses = surface croissante; en ordonnées = nombre d'espèces). L'aire minimale est la surface correspondant au point d'inflexion de la courbe.

Analyse en composantes principales (ACP) : Processus de calcul des composantes principales et de restitution de bandes en composantes principales. Elle permet la compression des données redondantes en un nombre réduit de bandes et c'est ainsi que nous avons une dimension réduite dans les données en sortie.

Bandé ou canal : Ensemble de données pour une portion spécifique du spectre électromagnétique, de l'information nouvellement créée par combinaison des bandes originales, ou alors de l'information générée par d'autres sources de données (comme les MNT).

Capteur : Instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et émet un signal électrique correspondant et mesurable.

Carte thématique : Carte qui, sur un fond repère topographique, hydrographique ou chronographique, représente qualitativement et/ou quantitativement des phénomènes et des objets de toute nature localisable dans l'espace.

Composition colorée : Représentation par le jeu des trois couleurs fondamentales (RVB) d'une série de données.

Correction géométrique : Correction des erreurs de distorsion, de rotation et de perspective dans les données de télédétection.

Correction radiométrique : Correction dans les variations radiométriques de données causées soit par le mal fonctionnement des radiomètres, soit par les interférences atmosphériques.

Digitalisation : N'importe quel processus qui converti toute donnée analogique en données numériques.

Données : 1) Dans le contexte de la télédétection, c'est un fichier numérique qui représente une image de télédétection, pouvant être traité pour en extraire de l'information.

2) Une collection de nombres, de files, ou de faits qui nécessitent quelques traitements avant d'être significatifs.

Données analogiques : Ce sont des données figées auxquelles on ne peut faire subir aucun traitement.

Données continues : Un genre de données matricielles, quantitatives, et ayant des valeurs continues (cas des images satellitaires).

Données numériques : Données sous le format digital, et auxquelles on peut faire subir divers traitements.

Fausses couleurs : Composition colorée dans laquelle une couleur du visible est substituée par l'IR.

Géo-référenciation : Processus d'attribution de coordonnées à une image avec un rééchantillonnage des pixels de l'image pour s'ajuster à la carte.

Image : Représentation analogique ou numérique d'un objet ou d'une scène.

Image thématique : Image dont le contenu ne présente plus une mesure mais une interprétation et une catégorisation de la nature des objets associés aux pixels.

Indices : Processus utilisé pour produire des images en sortie par combinaison mathématique des valeurs radiométriques des bandes.

Maximum de vraisemblance : Règle de décision servant à la classification, et basée sur l'occurrence d'appartenance d'un pixel à une classe particulière. Cet algorithme suppose que ces probabilités d'occurrence sont égales pour toutes les classes, et que les bandes en entrées ont une distribution normale.

MNT : Modèle numérique de terrain. Les MNT sont des couches matricielles géo-référencées de données continues dans lesquelles les valeurs représentent l'élévation.

Néocanaux : Canaux générés après l'application d'une ACP.

Numérisation d'image : Technique de conversion des données contenues dans une image en données numériques.

Onde électromagnétique : Ensemble de deux champs, magnétique et électrique, à oscillations perpendiculaires qui se propagent simultanément dans une direction donnée sans nécessiter de milieu matériel. Elle est représentée par deux vecteurs perpendiculaires indissociables, dont l'amplitude varie périodiquement avec le temps : le champ électrique E et le champ magnétique H . La direction de propagation de cette onde est perpendiculaire au plan défini par ces deux vecteurs et, dans le vide, elle se propage à la vitesse de la lumière.

Orbite : Trajectoire que décrit, par rapport à un système de référence spécifié, le centre de masse d'un objet spatial soumis aux seules forces naturelles, essentiellement les forces de gravitation et les forces d'inertie.

Pixel ou tachèle : (abréviation de : Picture éléments) élément de l'image c'est la plus petite unité homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage. Dans le cas de la numérisation d'une bande magnétique analogique, par exemple, le pixel est le résultat de l'intégration, selon un pas donné, du signal enregistré sur la bande.

Radar : “*Radio Detection and Ranging*” : Appareil qui émet des impulsions en hyperfréquences très brèves, ou des ondes entretenues, et reçoit l'écho de ces impulsions après réflexion sur des obstacles.

Réflectance ou coefficient de réflexion : Rapport du flux réfléchi par un milieu matériel au flux incident.

Rehaussement : traitement qui améliore la qualité visuelle et rend une image facilement interprétable au photo-interprète pour une application donnée.

Résolution radiométrique : Intervalle dynamique, ou nombre de valeurs radiométriques possibles dans chaque bande. Ceci est référé au nombre de bins dans lesquels l'énergie enregistrée est partagée.

Résolution spatiale : Représente la taille de l'élément de résolution ou pixel.

Résolution spectrale : Intervalles de longueurs d'ondes spécifiques dans le spectre électromagnétique qu'un senseur puisse enregistrer.

Résolution temporelle : l'intervalle de temps nécessaire pour l'acquisition de deux images consécutives de la même zone, Voir répétitivité des observations.

RVB (ou RGB) : Rouge, Vert, Bleu. Couleurs primaires.

Satellite : Plate-forme spatiale servant à l'acquisition et à la transmission des données concernant la surface du globe.

SIG : Système d'information géographique. Un SIG est un système unique conçu pour emmagasiner, combiner et analyser des couches de données géographiques afin de produire de l'information nouvelle.

Signature spectrale : Mesure quantitative des propriétés spectrales d'un objet dans une ou plusieurs bandes spectrales.

Traitement d'image : Manipulation des données digitales de l'image, comprenant les opérations de rehaussement, de classification et de rectification.

Annexe 3

Fiche de relevé phytosociologique

N° de relevé : _____ /

Auteurs : _____ / _____ /

Lieu du relevé : _____ /

Date du relevé : ____ / ____ / ____ /

Longitude/latitude :

Altitude :

Position topographique : *Pente : %

*Exposition :

Géomorphologie :

Recouvrement de la surface du sol :

Utilisation :

-Parcours	- Mise en défens
- céréales	-Jachère
-Arboriculture	-Plantation
	-Autres

Formation végétale : à

Recouvrement global : %

Structure verticale :*Nombre de strates :

*Arborée –Arbustive –herbacée.

Annexe 4

Quelques espèces et écosystèmes



Atriplexaie



Agrosystème : Phoeniciculture



Salsola tetragona



Astragalus armatus



Tamarix aie



Limoniastrum guyonianum



Anabasis articulata



Retama retam



Zygophyllum album



Aristida pungens



Arthrophytum scoparium

Annexe 5

Tableau 6 : Résultats de la station 1.

N° du Relevé	Nombre d'individus										Fréquence	Densité /100 m ²	Dominance (%)
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10			
Espèces													
<i>Anabasis articulata</i>	180	0	0	0	0	0	5	6	0	0	19,1	76,4	18,49
<i>Aristida pungens</i>	0	0	72	0	0	0	0	0	13	0	8,5	34	8,23
<i>Arthrophytum scoparium</i>	6	0	5	0	12	0	29	13	5	0	7	28	6,78
<i>Astragalus armatus</i>	59	0	0	0	0	0	0	14	0	17	9	36	8,71
<i>Atractylis serratuloides</i>	5	0	4	0	0	0	0	0	0	11	2	8	1,94
<i>Atriplex halimus</i>	0	102	0	0	0	55	0	0	0	0	15,7	62,8	15,20
<i>Chrysanthemum macrocarpum</i>	6	0	5	0	0	0	0	5	0	4	2	8	1,94
<i>Colocynthis vulgaris</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1,2	0,29
<i>Pergularia tomentosa</i>	1	0	0	0	0	0	0	7	0	3	1,1	4,4	1,06
<i>Retama retam</i>	0	0	6	0	0	0	0	0	5	0	1,1	4,4	1,06
<i>Salsola tetragona</i>	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	1,1	4,4	1,06
<i>Solanum nigrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0,2	0,8	0,19
<i>Suaeda fructicosa</i>	0	7	0	0	0	6	0	0	0	0	1,3	5,2	1,26
<i>Suaeda mollis</i>	2	0	0	0	0	0	3	2	0	5	1,2	4,8	1,16
<i>Tamarix africana</i>	0	0	0	0	6	19	0	0	0	0	2,5	10	2,42
<i>Thymelea microphylla</i>	5	0	7	0	0	0	0	0	6	0	1,8	7,2	1,74
<i>Zygophyllum album</i>	180	0	28	0	6	0	0	57	5	18	29,4	117,6	28,46

Tableau 7 : Résultats de la station 2.

N° du Relevé	Nombre d'individus										Fréquence	Densité /100 m ²	Dominance (%)
	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20			
Espèces													
<i>Anabasis articulata</i>	0	0	12	12	0	18	0	0	12	6	6	24	6,51
<i>Atriplex halimus</i>	0	0	0	6	7	0	19	0	0	0	3,2	12,8	3,47
<i>Chenopodium murale</i>	18	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2,3	9,2	2,49
<i>Chrysanthemum coronarium</i>	0	0	0	7	0	0	13	0	0	0	1,3	5,2	1,41
<i>Dactylon cynodon</i>	0	0	29	0	0	0	0	0	0	47	7,6	30,4	8,24
<i>Imperata cylindrica</i>	0	0	30	0	0	41	0	28	0	17	11,6	46,4	12,58
<i>Juncus maritima</i>	0	0	23	0	0	44	0	36	0	0	10,3	41,2	11,17
<i>Limoniastrum guyonianum</i>	0	29	0	0	0	5	0	0	19	0	5,3	21,2	5,75
<i>Peganum harmala</i>	63	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7	28	7,59
<i>Pergularia tomentosa</i>	13	0	0	0	0	0	0	0	7	0	2	8	2,17
<i>Phragmites communis</i>	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	2	0,54
<i>Suaeda fruticosa</i>	0	0	0	28	0	0	0	27	0	0	5,5	22	5,97
<i>Suaeda mollis</i>	0	0	0	0	15	0	14	0	11	0	4	16	4,34
<i>Tamarix africana</i>	0	0	0	28	0	0	0	11	0	0	3,9	15,6	4,23
<i>Zygophyllum album</i>	58	22	0	0	28	0	70	0	0	0	17,8	71,2	19,31