



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER II

Domaine: Sciences de la nature et de la vie

Filière: Ecologie et environnement

Spécialité: Sciences de l'environnement

Par: Toufik HADRI

Thème

**Recours aux outils de la télédétection spatiale et l'imagerie
satellitaire pour détecter la dynamique de l'espace, et la dégradation
des Ghouts dans le territoire du Souf
(Bas Sahara Algérien)**

Soutenu publiquement le: 30/05/2016

Devant le jury:

M. ALITATAR B	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Président
M. BOULGHOBRA N	Attaché de recherche	CRSTRA, Touggourt	Encadreur
M. KRAIMAT M	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examineur
M^{me}. MEBAREK OUDINA A	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2015/2016

Remerciements

J'adresse mes plus vifs remerciements à Mr. Nouar BOULGHOBRA, pour avoir dirigé cette recherche, ainsi pour la confiance et l'encouragement qu'il m'a accordé. Je remercie les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail en dépit des différentes responsabilités qui leur incombent et pour l'attention qu'ils ont porté au manuscrit de cette recherche, j'exprime ma reconnaissance à:

-Monsieur KRAIMAT Mohamed (maître assistant A, Univ. Ghardaïa) et Madame MEBAREK OUDINA Asmahane. (Maître assistant A, Univ. Ghardaïa) d'avoir accepté d'examiner ce travail;

- Monsieur ALITATAR Braham (maître assistant A, Univ. Ghardaïa) d'avoir accepté de présider ce jury.

Parce que les pensées et les idées avancées dans un manuscrit de thèse ne sont évidemment pas le fruit d'une seule personne, je veux également remercier tous ceux et celles qui ont contribué à nourrir ma réflexion sur les vastes sujets qui constituent cette thèse.

Résumé

Le Ghout est un système oasien traditionnel à Oued Souf, classé par l'organisation des nations unies comme Système Ingénieux du Patrimoine Agricole Mondial «SIPAM». Cependant, ce patrimoine a connu une grave dégradation à partir des années 1980s issue de plusieurs facteurs de nature différente. L'objectif de cette recherche est l'étude et le suivi diachronique de la disparition des Ghouts ayant recours aux outils de la télédétection spatiale et l'imagerie satellitaire; l'analyse, l'interprétation et le traitement des images bi-temporelles de Landsat (1984 et 2011) ont permis la détection, la quantification et la cartographie de la disparition des Ghouts à Oued Souf durant 28 ans.

Les résultats obtenus montrent que la superficie des Ghouts a été diminuée de 662,7 ha en 1984 à 193 ha en 2011 soit 70% de perte, dont les communes les plus affectées sont Bayadha et Robbah avec 77 et 74 % de perte respectivement. Parallèlement, la superficie occupée par les nouvelles cultures irriguées a augmentée de 0 ha (1984) à 928 ha (2011), avec une augmentation exceptionnelle à Robbah, El Oued et Bayadha (335.8, 176.8 et 132.6 ha respectivement). De même, la superficie de l'espace bâti a connu une importante extension en passant de 1202 ha en 1984 à 2298 ha en 2011, avec un maximum d'augmentation dans la commune d'El Oued étant chef-lieu de la wilaya. Outre le problème de la remontée de la nappe phréatique, la dégradation des Ghouts est aussi due à l'évolution de la culture irriguée et l'extension continue de l'espace bâti.

Mots clé: Oued Souf, télédétection spatiale, image satellitaire, NDVI, détection de changement, dégradation de Ghout.

يعتبر الغوط نظام واحاتي

عرف الغوط تدهورا واندثارا ملحوظا ابتداء من الثمانينات بسبب عدة عوامل.

يهدف هذا لى دراسة وتتبع حالة وديناميكية الغوط باستعمال تقنيات الاستشعار عن بعد و المرئيات الفضائية بين 1984 2011 (28). حيث ن معالجة وتحليل وتفسير هذه المرئيات مكنت من و تقييم تدهور

موضوعية و تسلسلية لديناميكية الغوط, الزراعات المسقية و النسيج الحضري.

بالاعتماد على تقنيتي مؤشر الغطاء النباتي و مراقبة التغير المجالي, فقد تبين 662,7 هكتار

1984 193 هكتار 2011, ما يمثل (70% غوط مندثر), تعتبر البياضة والرياح اكثر البلديات تضررا (77, 74%)

(. من جهة أخرى, فقد ارتفعت مساحة الزراعات المسقية من 0 هكتار (1984) 928 هكتار

(2011), وذلك بزيادة قدرها 335.8 , 176.8 132.6 هكتار في كل من الرياح, الوادي و البياضة على التوالي.

النسيج زيادة معتبرة: 1202 هكتار 1984 2298 هكتار 2011 بلدية

الولاية. زيادة على مشكل صعود المياه الجوفية, تعتبر زيادة مساحة الزراعات المسقية و النسيج من أهم الأسباب المساهمة تدهور الغوط واندثاره.

المفتاحية: , المرئيات الفضائية, مؤشر الغطاء النباتي, مراقبة التغير المجالي, تدهور

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1 :	Niveau de la nappe phréatique dans quelques communes à El Oued.....	10
Tableau 2 :	Données météorologiques de la région du Souf (2000-2015).....	11
Tableau3 :	Fréquences et directions des classes du vent à la station de Guemar (2000-2015).....	15
Tableau 4 :	Classe de l'indice de (E. de Martonne).....	17
Tableau 5 :	Croissance de la population dans la région d'étude entre (1987-2013).....	24
Tableau 6 :	Récapitulatif des dégâts aux Ghouts suite à la remontée des eaux dans les communes incluses dans l'étude.....	26
Tableau 7 :	Répartition des cas de maladies à transmission hydrique dans quelques communes d'El Oued	27
Tableau 8 :	Domaine d'application de la télédétection.....	31
Tableau 9 :	Les caractéristiques des satellites Landsat 4, 5 et 7.....	34
Tableau10 :	Les bandes du Capteur MSS.....	34
Tableau11 :	Caractéristiques et applications des bandes spectrales du capteur TM.....	35
Tableau12 :	La composition colorée selon le domaine d'étude	36
Tableau13 :	Couleurs obtenues par la combinaison de différents canaux Landsat.....	37
Tableau14 :	Indices de végétation définis à partir de données de télédétection.....	40
Tableau 15:	Caractéristiques des images Landsat 5 de la zone d'étude.....	41
Tableau 16 :	Comparaison des superficies de Ghout à El Oued entre 1984 et 2011.....	51
Tableau 17 :	Superficie de végétation entre1984-2011.....	53
Tableau 18:	La relation entre la régression de la superficie des Ghouts et l'augmentation de celles des nouvelles cultures.....	55
Tableau 19:	Croissance de la population dans la région d'El Oued entre 1987 et 2013....	56
Tableau 20:	Augmentation de l'espace bâti entre 1984 et 2011.....	56

Liste des figures

<i>Figure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Figure 1 :	Géo localisation de la région d'étude, (A) Situation de la wilaya d'El Oued en Algérie; (B) Situation de la région d'étude dans la wilaya d'El Oued; (C) Région d'étude et communes incluses, à partir de la composition colorée RGB: 541 de l'image Landsat TM (2011).....	4
Figure 2 :	La figure A est un modèle numérique de terrain (Aster) montrant les élévations topographiques dans la région d'étude, la figure B représente la localisation des Ghouts en 1984 et montre qu'ils se situent dans les bas-fonds de l'ancien Oued Souf.....	5
Figure 3 :	Carte des formations géologiques dans la région d'El Oued (extrait de la carte géologique de Gousskov N. et Laffitte R., 1951) à une échelle de 1/500.000.....	6
Figure 4 :	La litho-stratigraphie du forage « F1 ».....	7
Figure 5 :	Les aquifères profonds dans le Bas-Sahara.....	8
Figure 6 :	Variations mensuelles des températures moyennes.....	12
Figure 7 :	Variations mensuelles des pluies.....	12
Figure 8 :	Variations mensuelles de l'humidité de l'air moyenne.....	13
Figure 9 :	Distribution des évaporations mensuelles.....	13
Figure 10 :	Variation mensuelle de l'insolation.....	14
Figure11 :	Rose des vents pour la station de Guemar (2000-2015).....	16
Figure 12 :	Variation mensuelle des vitesses du vent moyen.....	16
Figure 13 :	Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls appliqué à la région du Souf (2000-2015).....	17
Figure 14 :	Climagramme d'Emberger de la région d'El Oued.....	18
Figure 15 :	Enlèvement du sable dans un Ghout à El Oued.....	20
Figure 16 :	Exemple de Ghout dans la région d'El Oued	20
Figure 17 :	Transfert des nappes profondes	22
Figure 18 :	Evolution de la nappe phréatique de Souf	22
Figure 19 :	État des Ghouts dans la région d'El Oued en 2001	23
Figure 20 :	Exemples des Ghouts inondés dans différents sites à El Oued.....	25
Figure 21 :	Ghout humide	25
Figure 22 :	Ghout sec	25
Figure 23 :	Principe de base de la télédétection	30

Figure 24 :	Processus de la télédétection.....	32
Figure 25 :	Les couleurs fondamentales de la composition colorée.....	36
Figure 26 :	Principe de classification.....	38
Figure 27:	Extraction de la région d'étude à partir de l'image satellitaire de Landsat Thematic Mapper.....	42
Figure 28:	Mode de visualisation des scènes satellitaires sous ENVI.....	43
Figure 29 :	Composition colorée des bandes 5 4 3 de l'image Landsat TM 1984.....	47
Figure 30 :	Composition colorée des bandes 5 4 3 de l'image Landsat TM 2011.....	47
Figure 31 :	Cartes de valeurs de NDVI dans la région d'El Oued en 1984 et 2011.....	48
Figure 32 :	Cartes de végétation dans la région d'El Oued en 1984 et 2011, extraites des cartes de NDVI.....	49
Figure33 :	Cartes de Ghouts dans la région d'El Oued en 1984 et 2011, après application de masque (élimination de mise en valeur).....	50
Figure 34:	Nouvelles mises en valeur dans la région d'étude.....	50
Figure 35:	Suivi de l'état de Ghout dans la région d'El Oued par soustraction.....	51
Figure 36 :	Diminution des superficies de Ghouts dans le sud d'El Oued entre 1984 et 2011.....	52
Figure 37 :	Suivi de l'état de Ghout dans la région d'El Oued par la méthode « détection de changement ».....	54
Figure 38 :	Courbe de corrélation linéaire entre la superficie de cultures irriguées et les pertes en superficies de Ghouts dans la région d'El Oued	55
Figure 39:	Evolution de l'espace bâti dans le sud d'El Oued entre 1984 et 2011.....	57
Figure40:	Evolution de l'espace bâti dans la région d'El Oued entre 1984 et 2011.....	57

Abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

BNEDER : Bureau Nationale d'Etudes pour le Développement Rurale.

CCT : Centre Canadien de Télédétection.

CI : Continental Intercalaire.

CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides.

CT : Complexe Terminale.

DSA : Direction des Services Agricoles.

DUCH: Direction de l'Urbanisme et de la Construction.

ENAGEO: Entreprise Nationale de Géophysique

ENVI: Environment for visualizing image.

ETM+: Enhanced Thematic Mapper plus.

MSS: Multi Spectral Scanner.

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index "L'indice de végétation par différence normalisé »

ONM : Office Nationale de Météorologie.

NIR : Canal Proche infra-rouge.

RBV: Return Beam Vidicon.

REM: Rayonnement.

SIG: Système d'Information Géographique.

SIPAM : Système Ingénieux du Patrimoine Agricole Mondial.

SOE : Système oasien évolué.

TM : Thematic Mapper.

UTM: Universal Transverse Mercator.

UVED : Université Virtuelle Environnement et Développement durable.

Table des matières

	<i>Pages</i>
Résumé	
Introduction générale	1
PARTIE I : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE	3
Chapitre 1: Contexte physiographique	4
1-Situation géographique d'El Oued.....	4
2- Le Relief.....	4
3- La Géologie.....	5
4- La géomorphologie.....	8
5- L'Hydrogéologie.....	8
5-1- Nappe de continental intercalaire (CI).....	9
5-2- Nappe du complexe terminale (CT).....	9
5-3- La nappe phréatique.....	9
6- Le sol.....	10
Conclusion.....	10
Chapitre 2: Contexte climatique	11
1- La température.....	11
2- Les Pluies.....	12
3- L'humidité relative de l'air.....	12
4- L'évaporation.....	13
5- L'insolation.....	13
6- Le vent.....	14
7- Indice d'aridité de (de Martonne, 1925).....	17
8- Classification bioclimatique.....	17
8-1- Diagramme Ombrothérmique de Gaussen et Bagnouls (1953).....	17
8-2- Climagramme d'Emberger (1932).....	18
Conclusion	19
Chapitre 3: System oasien au Souf et inondation du Ghout	20
1- La remonté des eaux de la nappe phréatique.....	20
2- Chronologie du phénomène de la remontée de la nappe phréatique.....	21
3- Les causes directes générant le problème de la remonté des eaux	23
3-1- Transfert des nappes profondes	23
3-2- Utilisation des forages pour l'irrigation.....	23

3-3- La topographie de la région.....	23
3-4- Les systèmes d'assainissement utilisés (fosse septique).....	23
3-5- La croissance démographique et urbanisation.....	24
4- Conséquences environnementales de la remonté de la nappe.....	24
4-1- Dégradation et disparition des Ghouts.....	24
a- Ghout inondé.....	24
b- Ghout humide.....	25
4-2-La salinisation des eaux d'irrigation et du sol.....	26
4-3-L'apparition des maladies hydriques.....	26
Conclusion de la partie I.....	28
PARTIE II : LA TELEDETECTION SPATIALE	
	29
Chapitre 1: Généralités sur la télédétection spatiale et le satellite Landsat	29
1- Définition de la télédétection.....	29
2- Principes de base de la télédétection.....	29
3- Domaines d'application de la télédétection.....	31
4- Processus de la télédétection	31
4-1 Source d'énergie ou d'illumination (A).....	32
4-2 Rayonnement et atmosphère (B).....	32
4-3 Interaction avec la cible (C).....	32
4-4 Enregistrement de l'énergie par le capteur (D).....	32
4-5 Transmission, réception et traitement (E).....	32
4-6 Interprétation et analyse (F).....	32
4-7 Application (G).....	32
5- Caractéristiques des Images satellitaires.....	33
6- Le satellite Landsat.....	33
6-1 Multi Spectral Scanner (MSS)	34
6-2 Thematic Mapper (TM)	35
6-3 Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+)	35
7- La composition colorée	36
8- La chaine de traitement des images satellitaires	37
8-1 Les prétraitements	37
8-2 Classifications	38
8-2-1 Classification non-supervisée.....	38
8-2-2 Classification supervisée	38
9. Indices de végétation.....	39

9.1. Principe de calcul des indices de végétation:.....	39
9.2. Principaux indices de végétation.....	39
Chapitre 2 : Données, matériel et méthode	41
1-Données.....	41
2-Matériel.....	41
3-Méthode.....	41
3-1 Extraction de la zone d'étude.....	41
3-2 Choix des bandes spectrales Landsat 5, et composition colorée.....	42
3-3 Extraction de l'information « couvert végétal » à partir de l'indice de végétation par différence normalisée NDVI.....	43
3-4 Extraction de la classe « Ghout » en 1984 et 2011.....	44
3-5 Extraction de la classe « culture irriguée » 2011.....	44
3-6 Calcul de la superficie relative à la classe « Ghout » en 1984 et 2011.....	44
3-7 Estimation des superficies de Ghouts disparues ou dégradés entre 1984 et 2011...	44
3-8 Suivi du changement de l'espace bâti entre 1984 et 2011.....	45
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION	46
1-Composition colorée et interprétation visuelle des images satellitaires.....	47
2- Carte des valeurs de NDVI.....	48
3- Extraction de la végétation à partir de NDVI.....	49
4- Suivi de la dégradation des Ghouts par la méthode de masque spatiale.....	50
5-Suivi de la dégradation des Ghouts par la méthode de détection du changement.....	53
6- Dégradation des Ghouts en relation avec la croissance urbaine.....	55
Conclusion de la partie III.....	58
Conclusion générale.....	59
Références bibliographique.....	60

Introduction générale

Au Sahara algérien, l'absence de précipitations a fait que les ressources en eau souterraines constituent la source principale de l'irrigation. Les Ghouts dans la région du Souf sont approvisionnés en eau par captage des eaux de la nappe phréatique. Durant les dernières 30 années, le Souf a connu une importante croissance démographique ainsi que le développement de cultures irriguées et mise en valeur, ce qui a augmenté la demande en eau potable et d'irrigation, ce déficit est donc compensé par l'exploitation des nappes profondes (Continental Intercalaire et Complexe Terminal) par un système hydraulique moderne (Forage), ceci a provoqué la remontée des eaux et par conséquent l'asphyxie et la disparition des Ghouts.

Plusieurs travaux antérieurs ont entamé le problème de la remonté de la nappe phréatique au Souf, nous citons: Cote (1998), Remini (2006), Saibi (2010), Chedala (2008). En suivant des approches souvent hydrauliques et hydrogéologiques, ces travaux ont mise en exergue les causes, les mécanismes et les impacts environnementaux du problème de la remonté des eaux.

En effet, il n'y a pas que la remontée de la nappe qui a provoqué la dégradation des Ghouts, mais aussi l'orientation de l'état vers l'appui des mises en valeur agricoles qui, a constitué une mutation d'un système oasien traditionnel classé par l'organisation des nations unies comme 'Système Ingénieux du Patrimoine Agricole Mondial' (SIPAM), vers un 'Système Oasien Evolué' (SOE), et d'un mode agraire naturel et d'autoconsommation vers un mode intensif et déséquilibrant (culture irriguée). Cette mutation non maitrisée a engendré un changement radical de l'écosystème oasien au Souf, en entraînant non seulement la disparition des Ghouts, mais aussi la pollution des ressources en eau et la contamination et salinisation des sols.

L'objectif de la présente étude est de mettre en relief la dégradation des Ghouts en suivant une approche géomatique, c'est pour la première fois que les outils de la télédétection spatiale et de l'imagerie satellitaire multirates et multi-spectrales seront utilisés dans la région d'étude, cette approche permettra un suivi diachronique du changement de l'espace à El Oued sur une période de 28 ans (1984 à 2011), une quantification spatiale sera réalisée grâce à la cartographie quantitative, statique et dynamique non seulement des Ghouts, mais aussi de nouvelles mise en valeurs agricoles et des espaces urbanisés. Ces informations nouvelles contribueront à mieux comprendre l'enjeu de la disparition des Ghouts dans un contexte plus élargi.

Ce travail s'organise en trois parties: La première qui est composée de trois chapitres : (1) présentation de la région d'étude, (2) présentation du contexte climatique et (3) présentation du système oasien au Souf et le problème de l'inondation des Ghouts. La seconde partie est consacrée

à la télédétection spatiale comme nouvelle approche de travail, le chapitre (1) présente des généralités sur la télédétection spatiale et le satellite Landsat, et le chapitre (2) met en exergue les données, matériels et méthodes utilisés. La troisième partie résume les résultats obtenus et leur discussion.

PARTIE I : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

Chapitre 1: Contexte physiographique

Il s'agit de déterminer les caractéristiques du milieu naturel à savoir la géologie, géomorphologie et hydrogéologie.

1-Situation géographique de la wilaya d'El Oued

El Oued se situe au Sud-Est de l'Algérie, à 600 Km de la capitale Alger, elle s'étend sur une superficie de 44.586 km² englobant 30 communes. D'après la figure A. Elle se situe entre la longitude 6° et 8° Est et la latitude 33° et 34° Nord, au Nord-Est du Grand Erg Oriental. Elle est limitée à l'Est par Chott El-Djérid, au Nord par les chotts Merouane, Melrhir et Rharsa, à l'Ouest par l'Oued Rhir et au Sud par l'Oued Maya, Ouargla (Voisin, 2004). C'est une région qui compte parmi les plus originales, de par sa situation au sein du Grand Erg Oriental à proximité des grands chotts (Dubost, 2002).

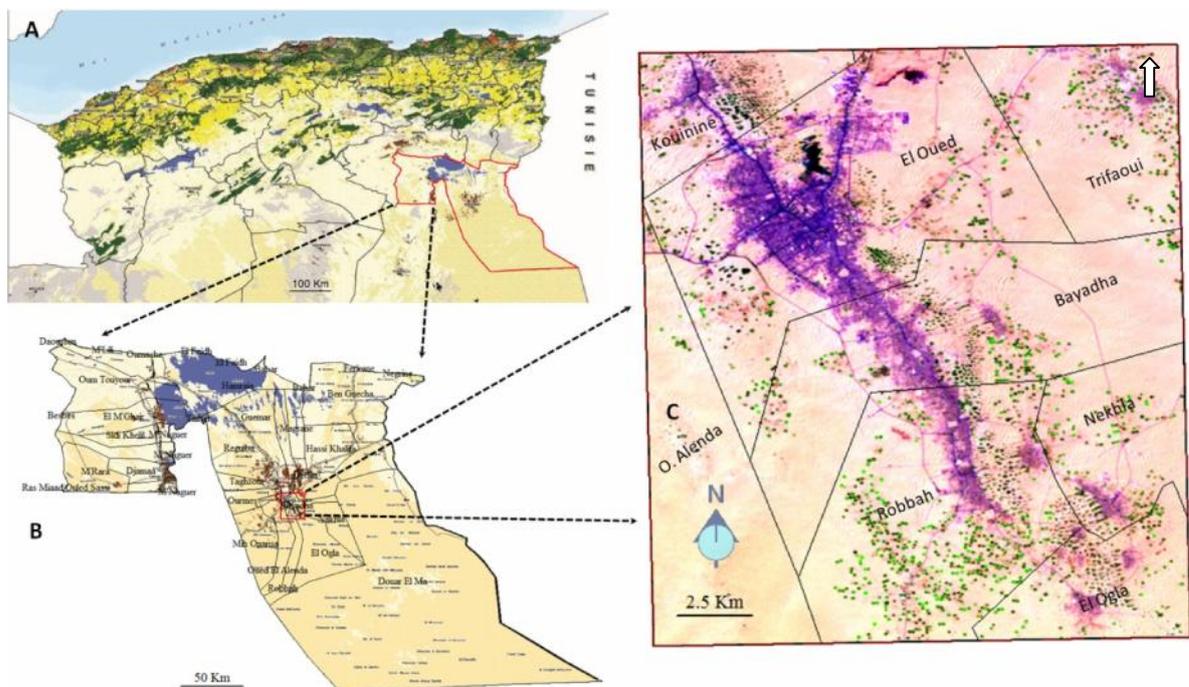


Figure 1: Géolocalisation de la région d'étude, (A) Situation de la wilaya d'El Oued en Algérie; (B) Situation de la région d'étude dans la wilaya d'El Oued; (C) Région d'étude et communes incluses dans l'étude, à partir de la composition colorée RGB: 541 de l'image Landsat TM (2011).

2- Le Relief

Le relief du Souf est en majorité compris entre 2 lignes orientées Est - Ouest; la première (Nord) est la courbe des 50 m qui passe par Reguiba, Magrane et Hassi Khalifa, la seconde (Sud) est celle des 100 m qui relie Oued Ziten, Amiche et EL Oqla. La courbe d'altitude des 75 m relie Guemar et Z'goum parallèlement aux lignes des 50 et 100 mètres (Voisin, 2004).

Le relief du Souf est caractérisé par l'existence des différentes formes:

- Une forme de plateau rocheux qui s'étend vers le Sud, avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression caractérisée par la présence de Ghouts qui prolongent vers l'Est (Nadjah, 1971 in Chedala, 2008).

La figure 2 présente les élévations topographiques de la zone d'étude, où on remarque que les Ghouts se situent dans les basses altitudes, c'est le bas-fond de l'ancien Oued Souf.

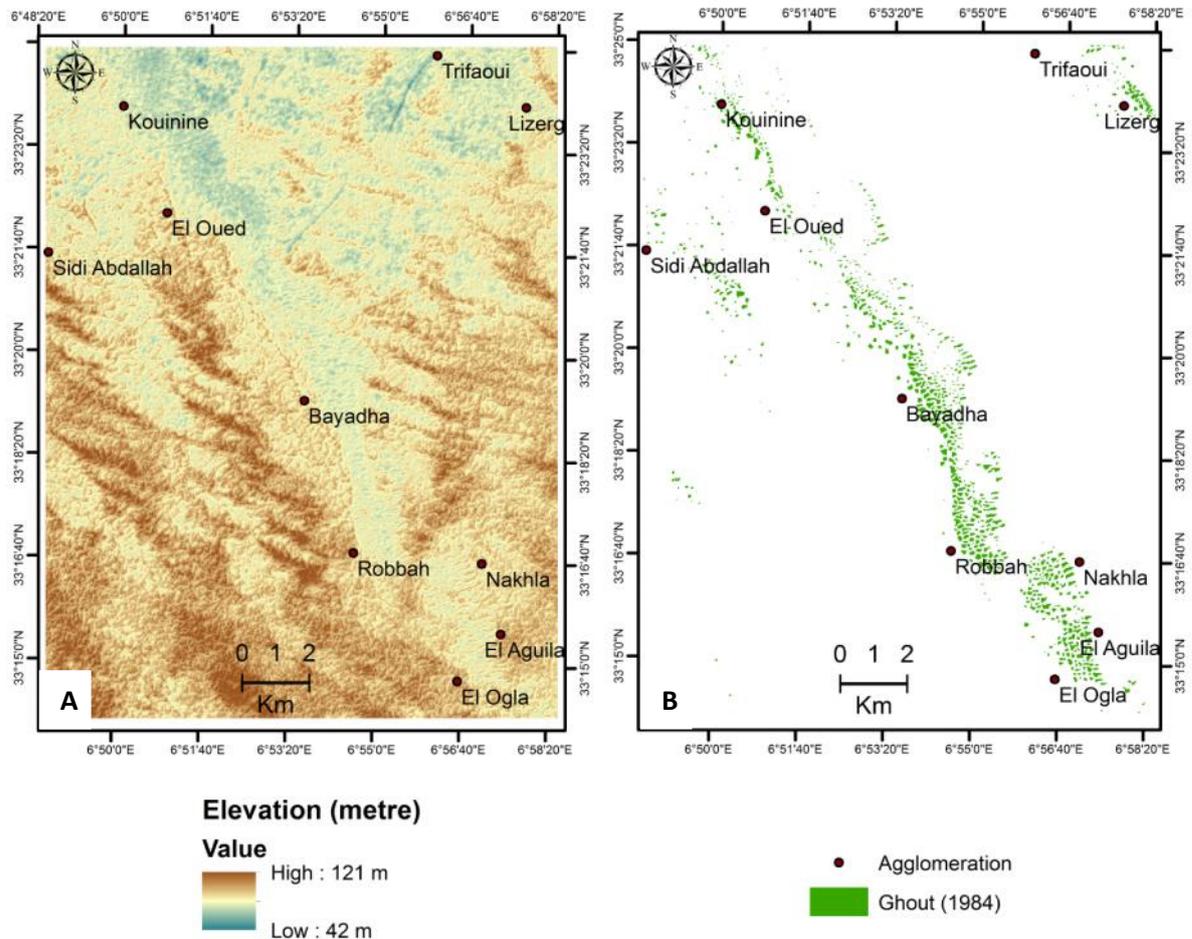


Figure 2: A : Est un modèle numérique de terrain (Aster) montrant les élévations topographiques dans la région d'étude, B: Représente la localisation des Ghouts en 1984 et montre qu'ils se situent dans les bas-fonds de l'ancien Oued Souf.

3- La Géologie

El Oued est situé exactement dans la partie Nord de la plateforme saharienne, caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses, seuls les terrains d'âge Quaternaire sont visibles à l'affleurement. Le Quaternaire est formé par des dépôts sableux de type éolien donnant naissance à des dunes, qui forment à leur tour l'extrémité ouest du grand Erg oriental. Au Nord ce sont les chotts qui disparaissent peu à peu sous les sables dunaires. C'est au niveau de cet horizon que l'on rencontre la nappe phréatique, c'est la raison que les Ghouts se localise dans cette

formation (fig. 3), dont cette figure montre bien la localisation de notre région d'étude dans l'ère Quaternaire.

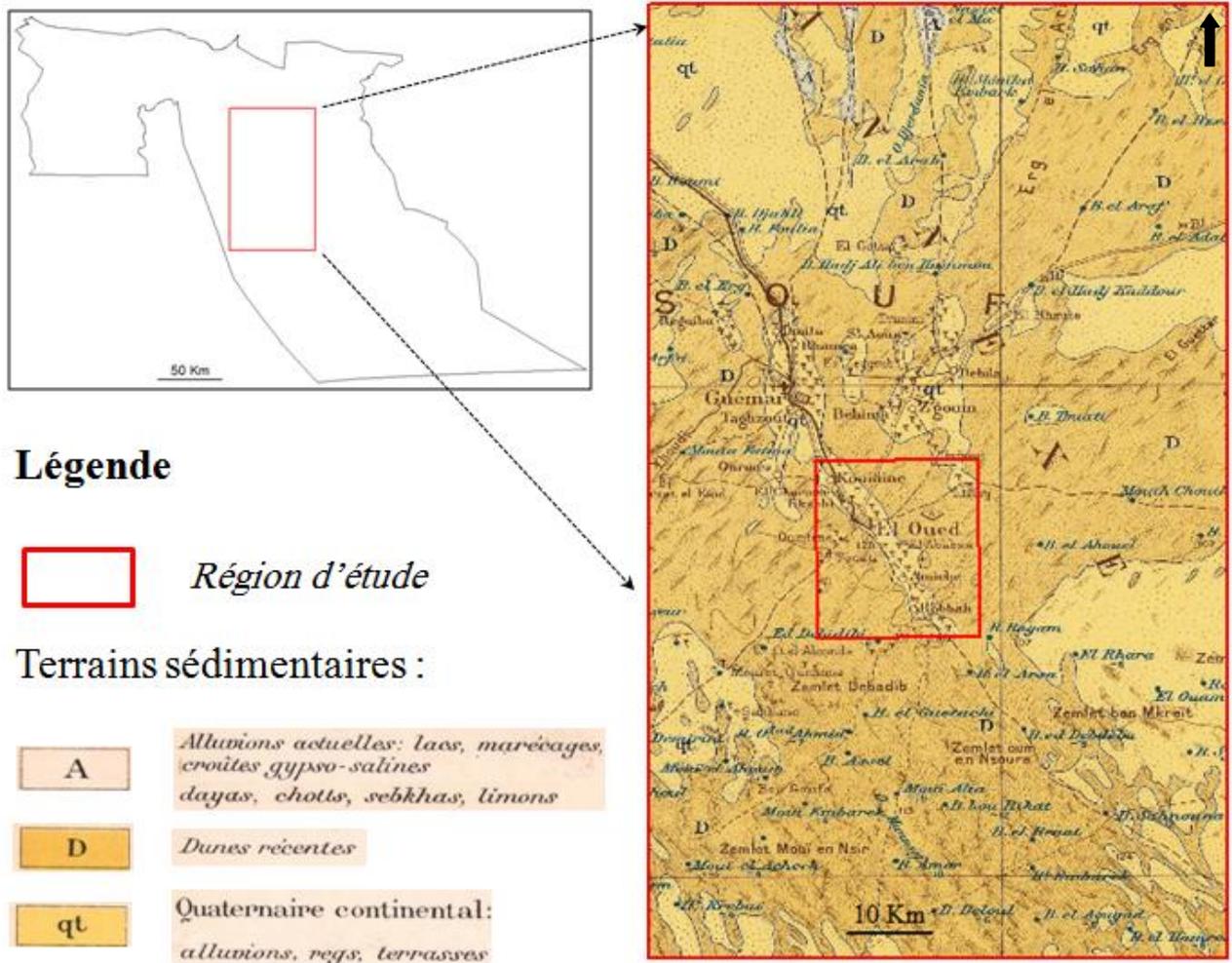


Figure 3: Carte des formations géologiques dans la région d'El Oued (extrait de la carte géologique de Gousskov N. et Laffitte R., 1951) à une échelle de 1/500.000.

Les étages des formations géologiques dans la région d'Oued Souf, sont représentés dans le profil stratigraphique du forage « F1 » (fig. 4).

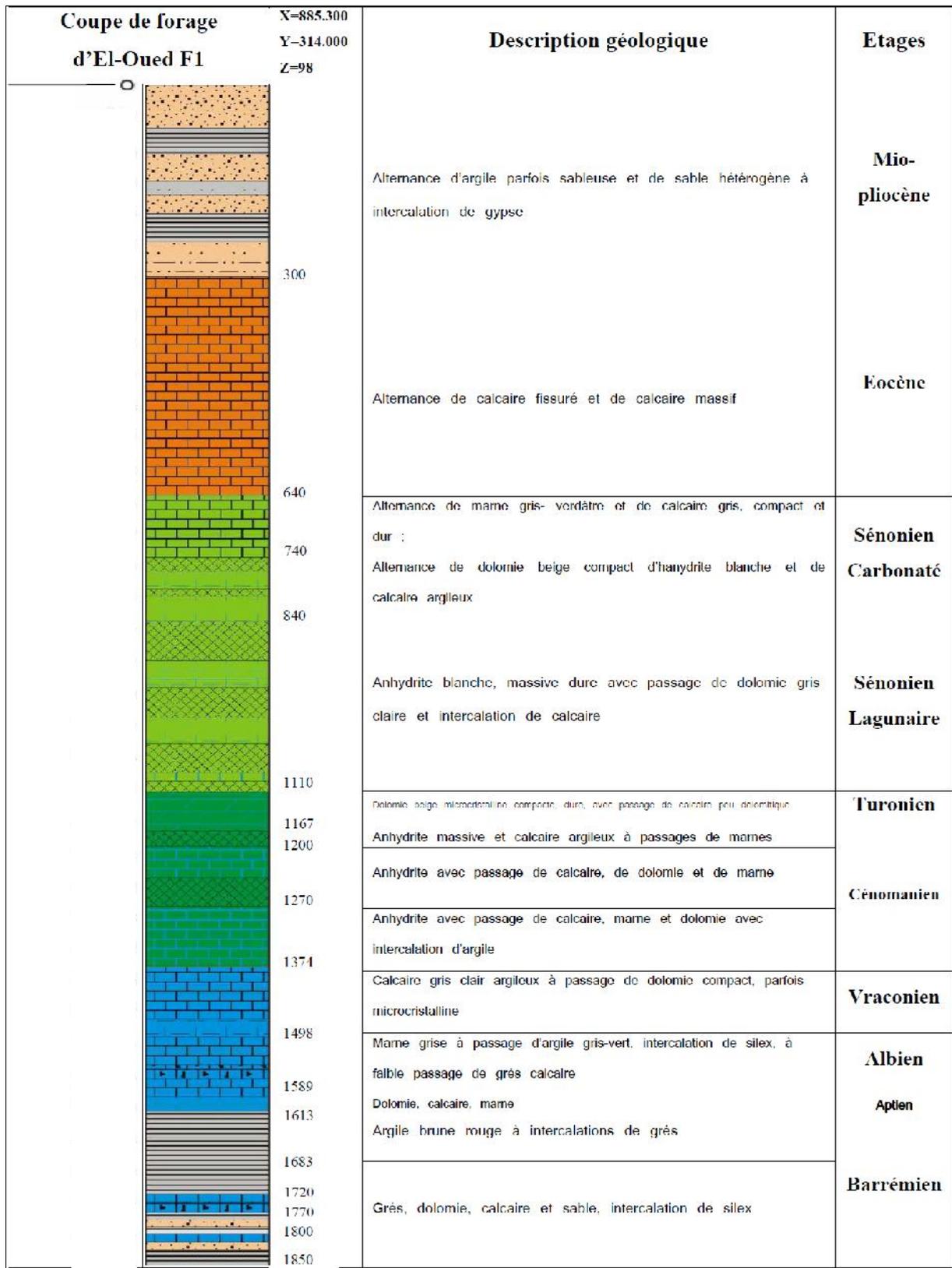


Figure 4: La litho-stratigraphie du forage « F1 » (ANRH, 1993).

4- La géomorphologie

Selon (ENAGEO, 1993 *in* Chedala, 2008), le Souf est la partie nord-orientale du Grand Erg qui englobe l'aire dépressionnaire des grands chotts, trois composantes géomorphologiques peuvent être distinguées :

- Au Nord des chotts, les vastes piémonts parcourus par les oueds descendant des Aurès et du sud Néméncha, c'est une zone traditionnelle de parcours.
- Au Sud des chotts, on se trouve dans les marges de l'Erg avec des placages de sable dans une grande épaisseur, mais modelés en bras d'orientation Nord Est – Sud-Ouest séparés par des dépressions riches en végétation. Les oasis sont installées dans cette zone et rassemblées dans un rayon d'une trentaine de kilomètres, sur des surfaces de reg caillouteux et encroûtés et limitées par des cordons de dunes et qu'on appelle des Shounes.
- En dessous de la latitude 33°, se trouvent les grandes accumulations sableuses en pyramides formant de grandes dunes (les Ghourdes). Elles sont moins nombreuses et séparées par de larges Sahanes au sud-ouest. Au Sud-Est, les Ghourdes sont plus resserrées et plus nombreuses et la circulation y devient très difficile.

5- L'Hydrogéologie

Les Gouts à El Oued coïncident avec les terrains quaternaires qui, - avec le crétacé - présentent un intérêt hydrogéologique, ils sont constitués d'une alternance de grès, de sables argileux et d'argiles, dolomies et de marnes, ainsi que d'évaporites. Cette série comporte deux systèmes aquifères: le continental intercalaire (CI) et le complexe terminale (CT) qui se terminent par une nappe phréatique superficielle et libre, étant la source d'approvisionnement de Ghouts en eau (Khadraoui, 2000). (fig. 5).

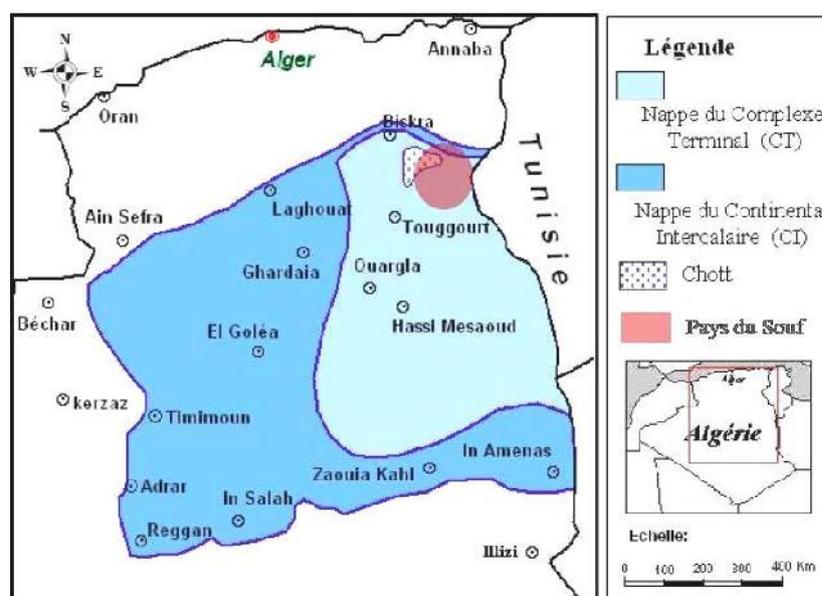


Figure 5: Les aquifères profonds dans le Bas-Sahara (Cote, 2005).

5-1- Nappe de continental intercalaire (CI)

D'après Cote (2005), la nappe du CI, ou nappe albienne, est contenue dans les formations sablo-gréseuses et argilo-gréseuses du crétaé inférieur. Elle s'étend sur plus de 600.000 km du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar et d'Ouest à l'Est depuis la vallée du Saoura jusqu'au désert Libyque. Sur le bassin oriental, le toit de l'aquifère est constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomanién, la profondeur du toit augmente du Sud au Nord (1000m) au bas Sahara à (2000m) sous les chotts, provoquant ainsi une forte charge de la nappe sur tout le bassin. Le substratum est constitué de formations argilo sableuses, argileuses ou carbonatées d'âge de plus en plus récent du Sud vers le Nord.

L'aquifère du CI est alimenté par:

- Le piémont Sud atlasique du Nord-Ouest,
- Le plateau du Tihert,
- Le Dahra (Tunisie).

5-2- Nappe du complexe terminale (CT)

Le système aquifère du complexe terminal couvre la majeure partie du Grand Erg Oriental du Sahara septentrional sur environ 350.000 km². Peu profond (100 à 400m). Le terme "nappe du Complexe Terminal" groupe plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes (Cote, 2005) Cette nappe peut circuler dans l'une ou les deux formations litho stratigraphiques citées plus haut:

- Sénonien et Eocène carbonatés,
- Miopliocène sableux,
- Quaternaire.

L'alimentation du complexe terminale se fait par:

- Alimentation à partir de l'Atlas saharién,
- Alimentation par le plateau du Tademaït et Tihert,
- Alimentation à partir des monts du M'Zab.

5-3- La nappe phréatique

L'eau phréatique est partout dans le Souf. Elle repose sur le plancher argilo-gypseux de pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface de sol, ne dépasse jamais une distance moyenne verticale de plus de 20 m de sable non aquifère. L'épaisseur de la nappe phréatique continue dans les sables dunaires quaternaire, est de l'ordre de quelques mètres (25 m à El Oued). Elle s'approfondit, par rapport à la surface du sol, à mesure qu'on s'éloigne vers le sud (Voisin, 2004), (tableau 1).

Tableau 1: Niveau de la nappe phréatique dans quelques communes d'El Oued.

Commune	Niveau de la nappe phréatique	Commune	Niveau de la nappe phréatique
Sidi-Aoun	06 m	Kouinin	10 m
Ghamra	07 m	Hassani A.	10 m
Débila	07 m	El Oued	12 m
Z'goum	08 m	El Ogla	14 m
Guemar	08 m		

Voisin (2004)

La nappe phréatique dans la région du Souf est alimentée, par les eaux utilisées par la population (eaux d'irrigation, industrielles et domestiques), et la source de ces dernières sont les nappes profondes du complexe terminal et continental intercalaire. D'après Cote, (2005) la nappe phréatique est alimentée surtout par les précipitations des rares fortes pluies qui tombent sur le Grand Erg Orientale.

6- Le sol

La particularité des sols du Sahara est leur régime hydrique du type aride. Leur fraction minérale est constituée surtout de sable. La fraction organique est très faible en général (inférieure à 1%). Ces sols squelettiques sont très peu fertiles, car leur capacité de rétention en eau est très faible.

Le sol au Souf prend deux aspects, le plus dominant est l'ensemble dunaire. Ce sont de grandes accumulations sableuses, l'autre aspect est appelé localement «Shounes» (plusieurs Sahane), où la surface du sol est parfois caillouteuse avec des croûtes gypseuses entourées par des hautes dunes (Ghourd) qui leur donnent ainsi une forme de cratères (Achour, 1995).

Conclusion :

Les Ghouts dans la région d'El Oued occupent le lit de l'oued Souf qui représente une zone de dépression, géo morphologiquement des inter dunes (Shounes) ce qui permet l'excavation et l'implantation de « Rejet », la géologie de la région correspond à des formations de l'ère quaternaire (détritiques et sableuses) ce qui a permis la formation de réserves souterraines telles le continental intercalaire (CI) et le complexe terminal (CT) à nappe phréatique libre, qui représente une source proche d'approvisionner les Ghouts en eau.

Chapitre 2: Contexte climatique

La région d'EL Oued se caractérise comme l'ensemble du bas Sahara par un climat de type Saharien, dont les amplitudes thermiques entre les minimas et maximas sont importantes et par une pluviométrie très faible. Il est à souligner que ce type de climat se distingue par de forte insolation et luminosité, dont la moyenne annuelle peut atteindre les 3000 heures (Khadraoui, 2005).

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de données de l'Office National de Météorologie (O.N.M, 2015) de la station de Guemar «Latitude: 33.5 ; Longitude: 6.11 ; Altitude:63m» pour la période 2000 - 2015 (tableau2).

Tableau 2: Données climatiques dans la station de Guemar durant la période 2000-2015.

	Température T. (°C)	Pluies P (mm)	Insolation I (h)	Vitesse du vent V (m/s)	Humidité H (%)	Évaporation E (mm)
Janvier	11,2	15	247	2	64	85
Février	12,9	4	246	2,4	54	109
Mars	17,6	6	265	2,9	46	160
Avril	21,8	6	279	3,5	42	210
Mai	26,4	3	311	3,4	37	252
Juin	31	0	334	3,2	33	286
Juillet	34,7	0	353	3	30	347
Août	33,7	3	335	2,7	33	294
Septembre	29	6	276	2,6	44	204
Octobre	23,7	5	258	2	50	155
Novembre	16,8	5	243	1,9	57	113
Décembre	12,3	8	226	1,9	65	80
M.annuelle	22,6	61*	3373*	2,6	46	2294

*Cumule annuelle

ONM, (2015)

1- La température

La température est un paramètre très important pour la détermination et la caractérisation du climat d'une région donnée. A partir du tableau 2, on peut déduire que :

* La température moyenne annuelle est de l'ordre de 22,6 °C.

* les mois les plus chauds sont Juillet et Août, avec 34,7 et 33,7 °C respectivement.

* les mois les plus froids sont Janvier et Décembre, avec 11,2°C et 12,3°C respectivement (fig. 6).

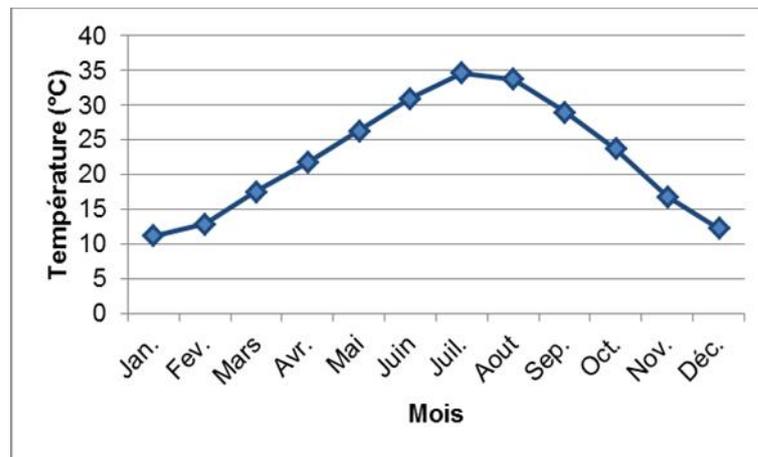


Figure 6: Variations mensuelles des températures moyennes, station Guemar (2000-2015).

2- Les Pluies

La région d'étude est caractérisée par des pluies irrégulières dans le temps et dans l'espace. En effet, la pluie moyenne durant la période 2000-2015 est de 61mm. Le mois le plus pluvieux est Janvier avec 15 mm, par contre la période sèche s'étale sur le reste de l'année (fig. 7).

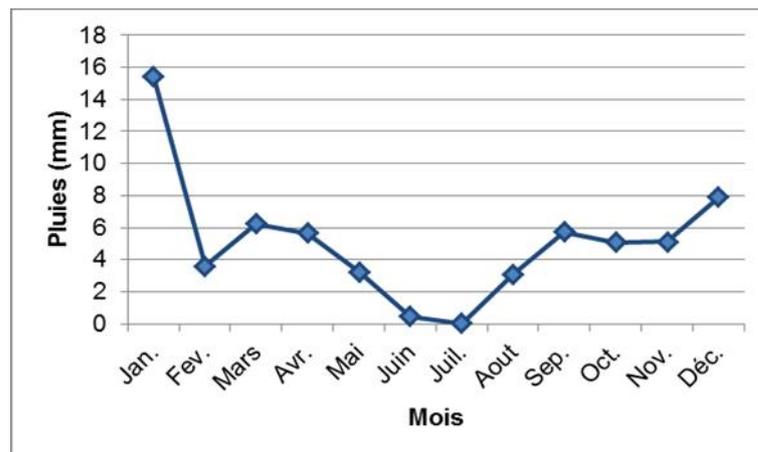


Figure 7: Variations mensuelles des pluies, station de Guemar (2000-2015).

3- L'humidité relative de l'air

L'humidité relative est faible et variable, ceci est dû aux températures élevées, l'humidité moyenne annuelle est de l'ordre de 46%. Les mois de décembre et Janvier sont les plus humides avec 65% et 64%, tandis que le mois de Juillet est le moins humide avec 30% (fig. 8).

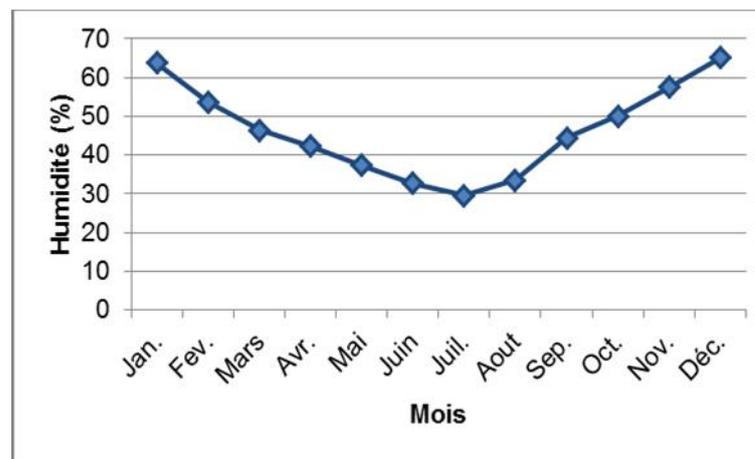


Figure 8: Variations mensuelles de l'humidité de l'air moyenne, station de Guemar (2000-2015).

4- L'évaporation

L'évaporation est plus importante durant la période chaude. La valeur maximale est de 346,6mm en Juillet, la valeur minimale est de 80,06mm en décembre. Le cumul annuel est de l'ordre de 2294 mm pour la période 2000-2013 (fig. 9).

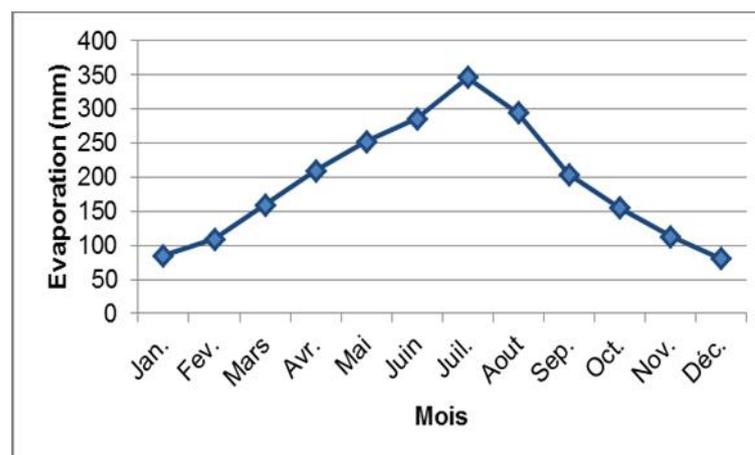


Figure 9: Distribution des évaporations mensuelles, station de Guemar (2000-2013).

5- L'insolation

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara (de 9 à 10 heures par jour), la durée d'insolation varie assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année (Dubief, 1959). Dans la région du Souf, le pic correspond au mois de Juillet avec 353 heures, pour la période 2000-2013 l'insolation est de 3373 heures (fig. 10).

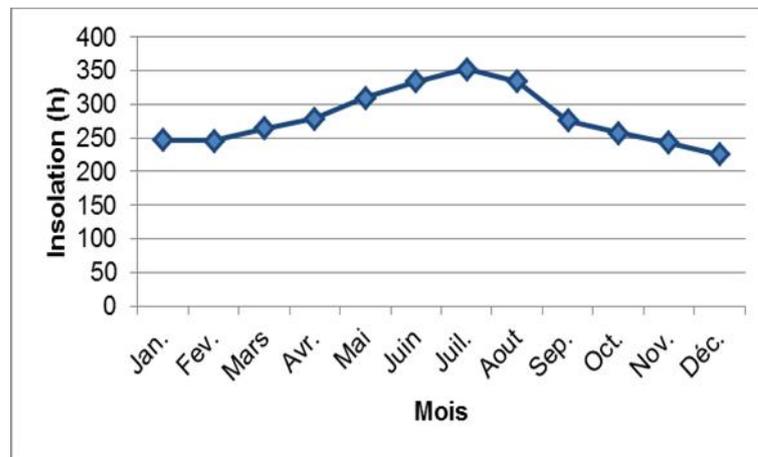


Figure 10: Variation mensuelle de l'insolation, station de Guemar (2000-2013).

6- Le vent

Le vent est le composant climatique le plus marquant dans la région du Souf, c'est un facteur important à considérer dans l'agriculture, il joue un rôle essentiel dans le phénomène de la pollinisation, comme il peut provoquer le flétrissement de certaines espèces végétales sensibles (Voisin, 2004)

Les fréquences et directions des classes du vent sont représentées dans le tableau 3, et la figure 11 pour la station de Guemar (2000-2015).

Tableau 3: Fréquences et directions des classes du vent à la station de Guemar (2000-2015).

Directions / Classes de vitesse (m/s)	0,5 - 2,1	2,1 - 3,6	3,6 - 5,7	5,7 - 8,8	8,8 - 11,1	11,1	Total (%)
N	0,43	0,41	0,49	0,36	0,12	0,03	1,85
NNE	0,44	0,40	0,45	0,37	0,10	0,02	1,78
NE	0,49	0,51	0,59	0,65	0,18	0,01	2,42
ENE	0,73	0,79	1,25	1,53	0,55	0,10	4,95
E	2,17	3,02	5,43	5,18	1,86	0,53	18,20
ESE	1,00	1,01	1,44	1,19	0,22	0,03	4,89
SE	0,57	0,58	0,54	0,34	0,07	0,01	2,11
SSE	0,85	0,70	0,72	0,36	0,06	0,01	2,70
S	1,10	0,88	0,85	0,58	0,13	0,05	3,61
SSW	0,87	0,77	0,82	0,51	0,12	0,05	3,14
SW	0,57	0,61	0,60	0,36	0,10	0,02	2,27
WSW	0,71	0,76	0,74	0,52	0,13	0,03	2,88
W	1,39	1,69	1,96	1,45	0,67	0,22	7,38
WNW	0,49	0,49	0,64	0,75	0,41	0,17	2,94
NW	0,26	0,26	0,44	0,57	0,30	0,11	1,95
NNW	0,37	0,42	0,50	0,46	0,22	0,09	2,05
Sous totaux	12,43	13,29	17,47	15,19	5,25	1,50	65,13
Calme							34,87
Total							100

ONM (2015)

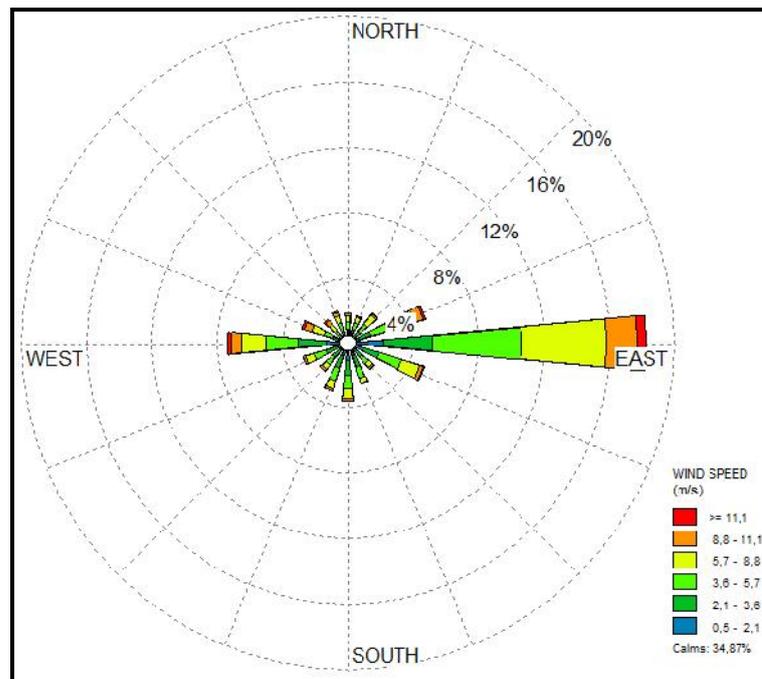


Figure 11: Rose des vents pour la station de Guemar (2000-2015).

La vitesse moyenne annuelle du vent est de l'ordre de 2,6 m/s (fig. 12), il y a trois mois durant lesquels les vents de sable soufflent (vitesse du vent supérieur à 6 m/s) : Avril, Mai et Juin. En hiver, les vents froids dominants sont ceux des secteurs ouest (Nord-Ouest et Sud-Ouest). Au printemps et en été, les vents soufflent de l'est (Nord-Est et Sud-Est), en automne, ils sont Nord-Est ou Sud-Ouest. (Voisin, 2004).

Le vent de l'est est appelé (EL bahri), tandis que le vent du Sirocco ou "Chihili" apparaît pendant l'été selon deux directions : sud nord et sud-ouest, il se manifeste par des vitesses élevées.

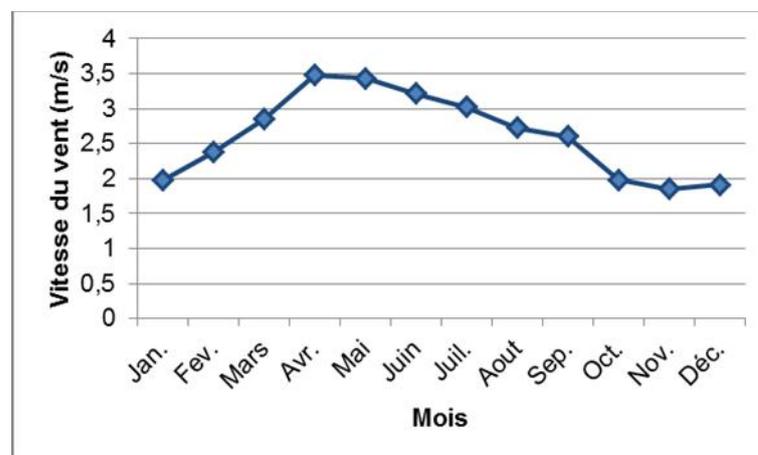


Figure 12: Variation mensuelle des vitesses du vent moyen, station de Guemar (2000-2015).

7- Indice d'aridité de (de Martonne, 1925)

Cet indice permet d'identifier le type du climat, il se présente comme suit:

$$Id = P / (10+T)$$

Id: indice d'aridité de (E. de Martonne); P: pluie en mm et T: température moyenne en °C.

Tableau 4: Classe de l'indice de (E. de Martonne)

Valeur de Id	Type de climat	Type de végétation potentielle
0 à 5	Hyper aride	Désert absolu
5 à 10	Aride	Désert
10 à 20	Semi-aride	Steppe
20 à 30	Semi-humide	Prairie naturelle, forêt
30 à 40	Humide	Forêt
40 à 55	Humide	Forêt

Pour le cas de la région d'étude, la pluie (pour la période 2000-2015) est de 61 mm, la température moyenne T est de 30°C. Donc, l'indice d'aridité de « de. Martonne » est estimé à 1,5, ce qui permet de caractériser le climat d'hyper aride.

8- Classification bioclimatique

8-1- Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953)

Il consiste à placer en abscisse les mois de l'année, en ordonnée les températures (à gauche) et les pluies (à droite) avec l'échelle $P = 2T$.

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (fig. 13) montre que le climat d'El Oued est caractérisé par une sécheresse permanente où les pluies mensuelles sont toujours inférieures au double des températures.

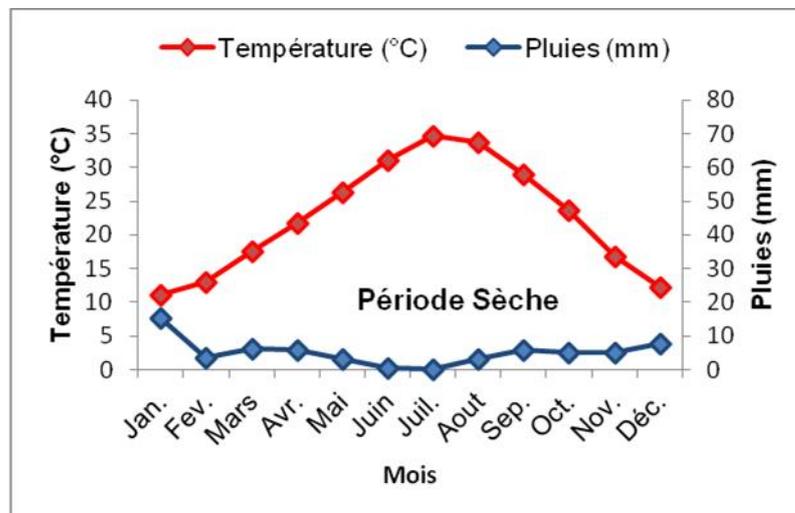


Figure 13: Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls appliqué pour la station de Guemar (2000-2015).

8-2- Climagramme d'Emberger (1932)

Il permet de connaître l'étage bioclimatique d'une région et de donner une signification écologique du climat. Selon le Huerou (1995), la formule de Stewart (1969) peut être adaptée pour l'Algérie comme suit :

$$Q_2 = 3,43 P / (M - m)$$

Avec :

Q_2 = quotient pluviométrique d'Emberger.

P: pluviométrie annuelle en mm (61mm).

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C (Juillet 42,3°C et Aout 40,9°C).

m: moyenne des minima du mois le plus froid en °C (Janvier 4,9°C et Février 6,3°C).

$$Q_2 = 3,43 * 61 / (41,6 - 5,6), \text{ donc } Q_2 = 5,81$$

D'après la figure 14, El Oued est caractérisée par un climat saharien à hiver doux, le quotient thermique Q_2 est de 5,81.

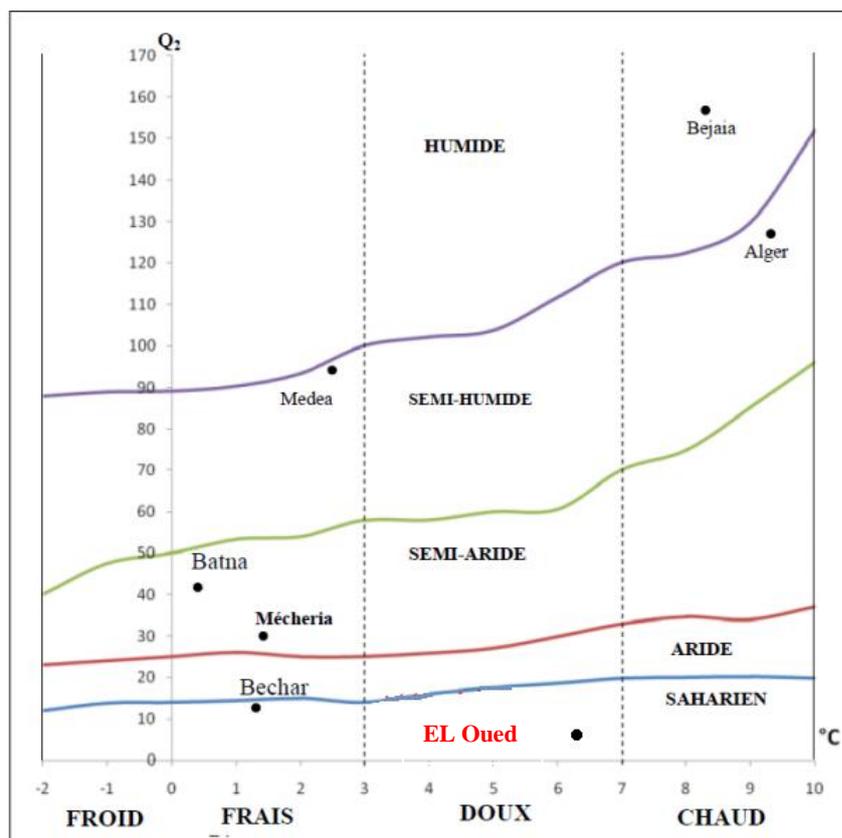


Figure 14: Climagramme d'Emberger de la région d'El Oued, station de Guemar (2000-2015).

Conclusion

La région d'El Oued est caractérisée par un climat Saharien de type hyperaride, où la saison sèche s'étale sur toute l'année. La température moyenne est de l'ordre de 22,6°C. Les pluies sont très faibles (61mm). L'humidité est relativement faible avec une moyenne annuelle de 46%. La durée d'insolation annuelle est de 3373heures. La vitesse moyenne du vent est de 2,6 m/s avec une direction dominant Est.

Chapitre 3: Système oasien au Souf et inondation du Ghout

Les Ghouts du Souf se présentent sous forme d'une série de cuvettes séparées par des dunes de sables. Elle est établie sur le lit d'ancien oued aujourd'hui souterrain. L'ensemble s'étend sur: 50 à 60 km du Nord au Sud et de 15 à 20 km de l'Est à l'Ouest. Les Ghouts sont plantés au fond des cuvettes dont les plus profondes sont situées au Sud; le fond de ces cuvettes se trouve à 0.80 ou 1 m de la nappe d'eau, lorsque on veut établir un Ghout soit en plaine ou en dépression naturelle (Sahane), il faut enlever le sable jusqu'à 1,50 m ou 2 m de la nappe. Cela nécessite l'enlèvement de couche de sable dont l'épaisseur varie de 2 à 3 m dans le Nord et 12 m et plus dans le Sud et déposé sur la dune qui entoure la cuvette (fig. 15) (Lucien, 1947).

Les Ghouts sont implantés par groupe de 20 à 100 palmiers au centre d'une cuvette artificielle d'une profondeur de 10 m et d'un diamètre de 80 à 200 m (Remini, 2006) (fig. 16).



Figure 15: Enlèvement du sable dans un Ghout à El Oued, Photo par (Lucien) 1947.



Figure 16: Exemple de Ghout dans la région d'El Oued (CRSTRA, 2012).

Le nombre de Ghouts recensés en 1998 est de l'ordre de 9.000 constituant un peu plus de 500.000 palmiers dattiers qui se regroupent en 74 cultivars qui répondent aux besoins de la population (Senoussi, 2012).

Le Ghout se distingue par 3 caractères bio-climatologiques :

- La teneur en eau à la surface du sol plus élevée en raison de la nappe d'eau proche ou de l'irrigation.
- La rugosité dynamique (ou la force de frottement du vent) élevée à cause de la présence des arbres et parfois de plusieurs niveaux de végétation.
- La répartition verticale d'énergie rayonnante qui est distribuée dans l'oasis en fonction des strates végétales (Riou, 1990).

1- La remontée des eaux de la nappe phréatique

Le phénomène de la remontée de la nappe est apparu aux portes immédiates de la ville d'El-Oued, puis l'aurole s'est agrandie, au point de toucher aujourd'hui la moitié Sud du Souf de

Kouinine à Nakhla. Schématiquement on peut dire que 500 à 600 Ghouts sont ennoyés et que 60.000 palmiers sont morts. La situation est d'autant plus spectaculaire qu'elle touche la partie sud du Souf, celle des grandes Ghouts profonds développés au milieu des hautes dunes, où il n'existe pas d'activités de remplacement (Cote, 1998).

Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique dans la région d'Oued Souf, a pris des proportions alarmantes, concernant la pollution et la dégradation de l'environnement. La remontée de la nappe phréatique a fait que le niveau de la surface des eaux souterraines dépasse, parfois, le niveau du sol, notamment, au niveau des Ghouts. Cette remontée a provoqué la formation de marrés d'eau stagnante, ce qui a pour effet la dégradation des habitations, l'eutrophisation des eaux, la pollution de la nappe superficielle et l'apparition de maladies. Il s'agit d'un problème d'assainissement rendu difficile du fait de la nature géographique de la région, présentant un système hydrographique endoréique. Le surplus de l'eau emmagasiné dans la nappe phréatique provient des eaux des nappes profondes (Continental Intercalaire et Complexe Terminal). Le problème réside dans la mauvaise gestion des eaux et de l'absence d'un réseau d'assainissement. Des projets de luttés contre cette remontée ont été programmés et ce depuis les années 1990 et qui consistent en l'assainissement, le drainage et l'épuration des eaux (Bouselsal, 2014).

2- Chronologie du phénomène de la remontée de la nappe phréatique

D'après les travaux de Côte M. (1993, 2001), complétées par le BNEDER (1992, 1993 et de 1994); l'ANRH (1993, 1994), et l'inventaire des forages et enquête sur les débits réalisé par ANRH (1999), on peut établir l'historique suivant:

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région d'El Oued est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle. Avant 1956, toute l'eau utilisée pour l'alimentation humaine, et l'agriculture revenait de la nappe phréatique. La croissance de la population et l'extension des cultures ont conduit à creusé en 1956 le premier forage au Complexe Terminal (CT) à l'AEP d'El Oued, entre 1957 et 1969, environ un nouveau forage par an a été exécuté dans le CT, de 1970 à 1980, environ 2 forages par an ont été réalisés dans le CT, dès 1980, on observe les premiers Ghouts ennoyés à El Oued et une montée progressive et persistante de la nappe phréatique aux portes d'El Oued, ce qui en 1985 alarme les autorités. Entre 1980 et 1987 une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le CT et trois forages dans Continental Intercalaire (CI), ses derniers sont fortement artésiens, et débits de 200 l/s, soit de 5 à 10 fois plus importantes que ceux de CT.

En 1993, la nappe avait ennoyé les Ghouts sur 25km dans le couloir Kouinine-Robbah.

La nappe continue à monter au niveau de la ville d'El Oued de 40 à 60cm, par année. Devant ce problème une étude a été faite pour effectuer un réseau de drainage vertical dans les

centres urbains, constitué de 58 forages débitants de 6l/s, connecté à 34km de conduites, l'ensemble des eaux drainées aboutit à la station de pompage qui refoulera vers Chott Halloufa, le réseau de drainage devient opérationnel depuis 2011, et maintien le niveau d'eau à 1m de profondeur sous les zones les plus bas (Ghouts).

Cote, (1998, 2006) a schématisé le transfert des nappes profondes, l'évolution de la nappe phréatique et l'état des Ghouts ce qui représente les figures 17, 18 et 19.

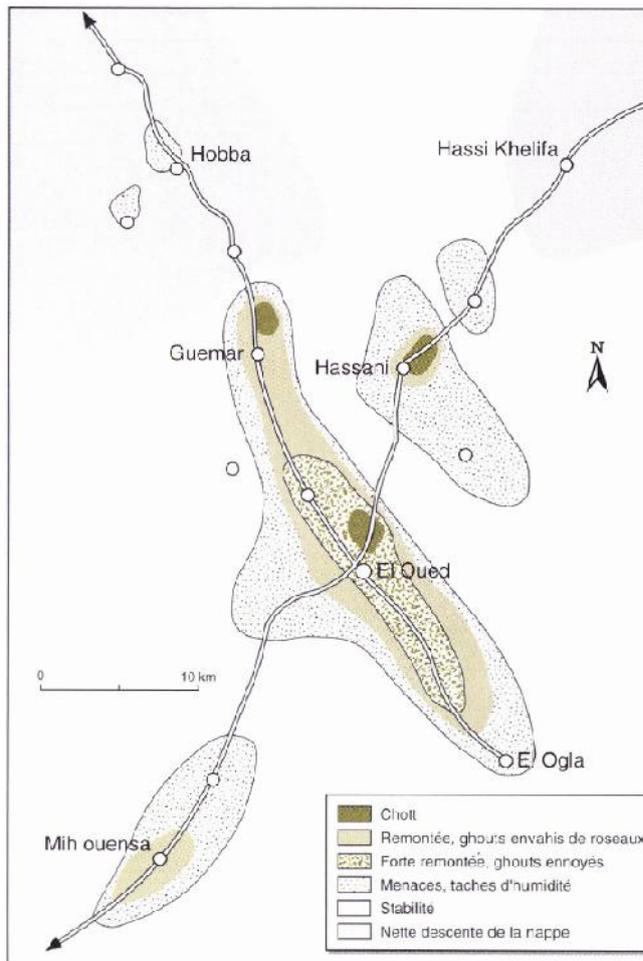


Figure 17: Transfert des nappes profondes (Cote, 1998).

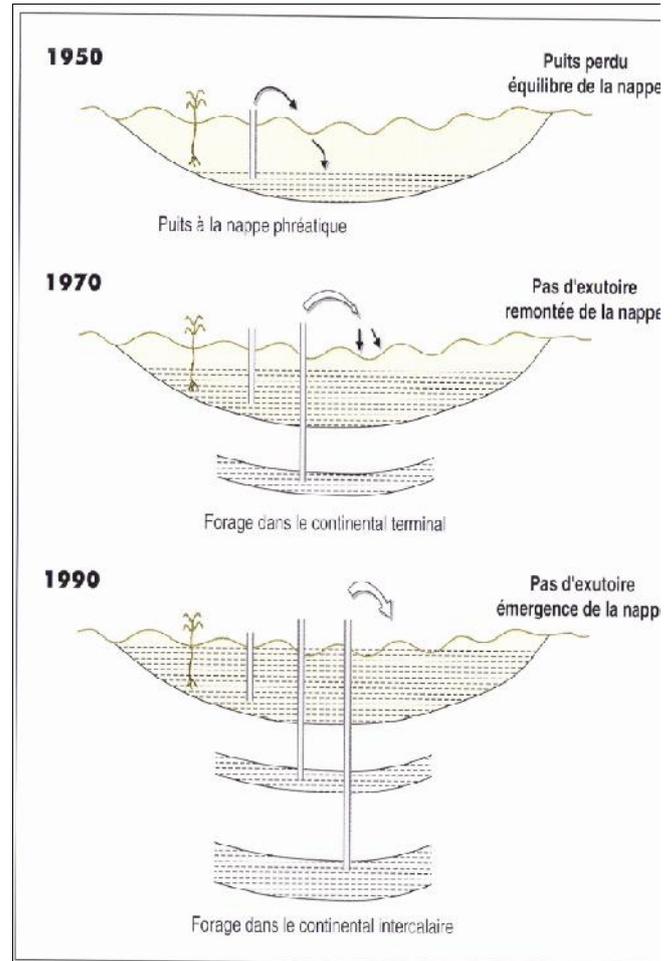


Figure 18: Evolution de la nappe phréatique de Souf. (Cote, 1998).

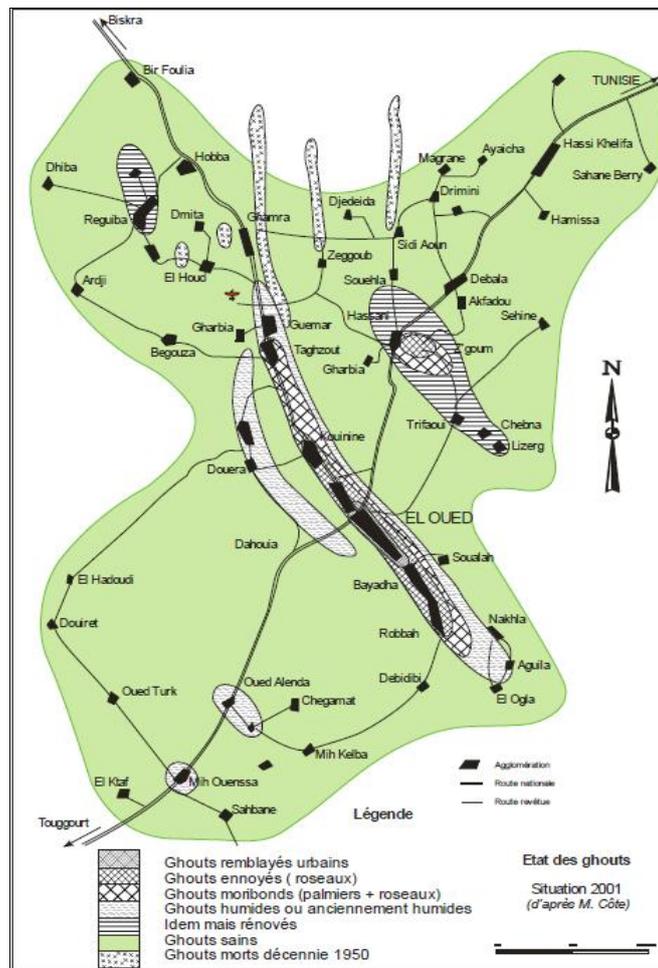


Figure 19: État des Ghouts dans la région d’El Oued en 2001. (Cote, 2006).

3- Les causes directes générant le problème de la remonté des eaux

3-1- Transfert des nappes profondes: L'utilisation des eaux des nappes profondes pour l'alimentation en eaux potable et l'agriculture contribue fortement à la remontée de la nappe superficielle. Ce transfert est facilité également par la communication inter-nappe (fig. 17), qui est due à la vétusté des équipements des anciens forages et par les eaux usées (ANRH, 1998).

3-2- Utilisation des forages pour l'irrigation: Avant, le mode d'irrigation dans le Souf, se faisait directement à partir de la nappe phréatique. Avec la baisse du niveau de la nappe, le recours aux nappes plus profondes (CI et CT) a été imposé. Plusieurs puits forés dans le Souf servent aujourd'hui à des périmètres irrigués.

3-3- La topographie de la région: Elle est très vallonnée avec des dépressions. Cette topographie s'ajoute à une forte perméabilité des sols (sable) qui facilite l'infiltration des eaux d'irrigation et de pluie vers la nappe phréatique. Cette situation est aggravée par le manque d'exutoire naturel proche de la région.

3-4- Les systèmes d'assainissement utilisés (fosse septique): La zone n'était pas encore dotée d'un réseau d'assainissement à l'exception d'El Oued qui est dotée d'un réseau d'assainissement sur un

linéaire de 75 km de conduite en béton et amiante, ou 16% seulement sont raccordés, avec un rejet à 4km à l'extérieur de la ville (ANRH, 1998). La majorité des habitants utilisent des systèmes traditionnelles pour évacuer les eaux usées, ces dispositifs s'appellent "fosses septiques", dont les 18 communes totalisent 36.265 fosses (BG-AGEP, 200 in SAIBI, 2010).

3-5- La croissance démographique et urbanisation: Le tableau 5 ci-dessous montre la croissance de la population au cours des années (1987-2013), dont elle a augmentée de 115.329 en 1987 à 249.775 habitants en 2013, avec une augmentation exceptionnelle à la commune d'El Oued chef-lieu de wilaya de 70.911 (1987) à 155.525 habitants (2013).

Tableau 5: Croissance démographique dans la région d'El Oued entre 1987 et 2013

Commune	Superficie (km ²)	1987		2013	
		Pop. 1987	Dens. 1987	Pop. 2013	Dens. 2013
El Oued	77	70.911	919	155.525	2.015
Bayadha	139	20.063	145	37.320	269
Robbah	499	11.676	23	25.290	51
Nakhla	700	5.717	8	14.950	21
Trifaoui	474	3.983	8	9.605	20
El Ogla	1.352	2.979	2	7.085	5
Région d'étude	3241	115.329	35,58	249.775	77,06

DUCH d'El Oued, (2013).

Le passage de l'habitat en Médina à l'état en "ville moderne" interroge sur l'urbanité nouvelle qui engendre des exigences nouvelles par rapport à l'habitat, au confort, à l'utilisation des espaces de la maison, et surtout au rythme de la consommation des eaux (Khelef, 2006).

4- Conséquences environnementales de la remonté de la nappe

4-1 Dégradation et disparition des Ghouts

La remonté de la nappe phréatique a causé un changement important sur l'environnement touchant plusieurs aspects environnementaux essentiellement le secteur agricole et en particulier les Ghouts. Ceci a donné lieu à deux types de dégradation des Ghouts :

- a- Ghouts inondés:** Ce sont des Ghouts caractérisés par la colonisation des roseaux prenant la place des palmiers dattiers (fig. 20), ils se caractérisent aussi par des palmiers dattiers en mauvais état et plusieurs palmiers dépéris.

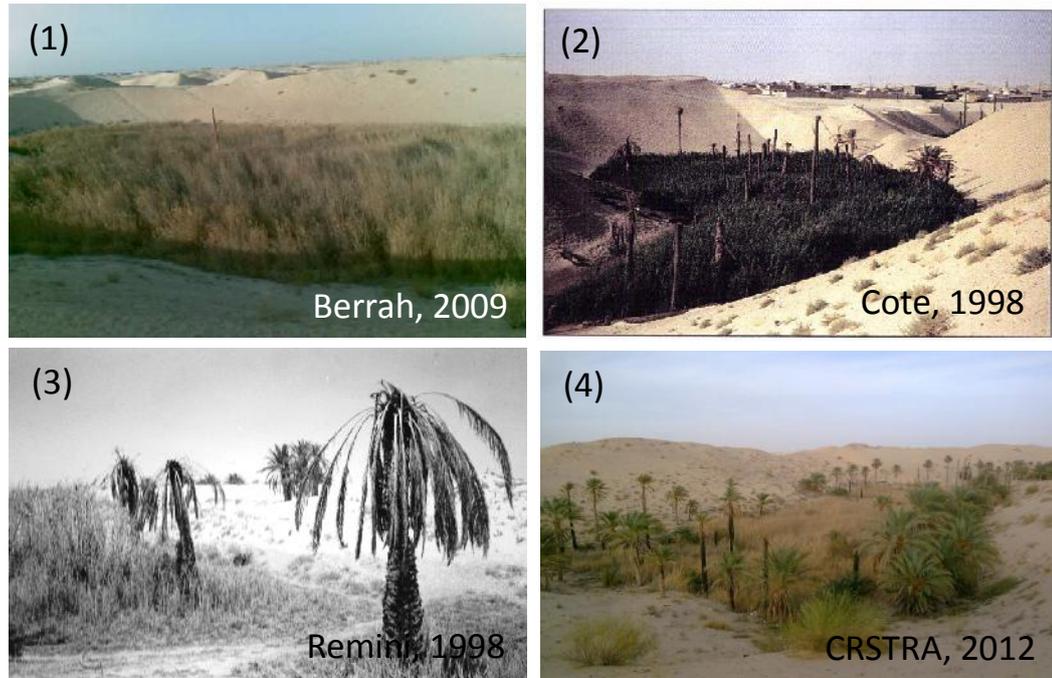


Figure 20: Exemples de Ghouts inondés dans différents sites à El Oued.

b- Ghouts humides: Ces Ghouts sont peu envahis par les roseaux, avec une faible production de dattes (fig.21).



Figure 21: Ghout humide (CRSTRA, 2012).



Figure 22: Ghout sec (CRSTRA, 2012).

Le tableau 6 suivant, montre les dégâts de la remonté de la nappe phréatique dans les communes incluses dans la région d'étude, dont les plus affectées sont : Bayadha, El Oued, Robbah et Kouinin avec (94, 78, 47, et 45% de Ghouts inondés respectivement)

Tableau 6: Récapitulatif des dégâts aux Ghouts suite à la remontée des eaux dans les communes incluses dans l'étude

Communes	Nb. Ghouts inondés	Nb. Ghouts humides	Nb. Ghouts Secs	Total de Ghouts	Ghouts inondés (%)
Bayadha	249	4	12	265	94
El Oued	164	40	7	211	78
Robbah	77	27	59	163	47
Kouinine	186	160	66	412	45
Nakhla	29	82	13	124	23
Ogla	6	66	58	130	5
Oued. Allenda	4	52	244	300	1

DSA, (1998).

4-2-La salinisation des eaux d'irrigation et du sol

Dans le système actuel d'irrigation, les agriculteurs pompe dans la nappe la quantité d'eau qui leur semble nécessaire, les eaux excédentaires s'infiltrent sur place et rejoignent la nappe. Ces excédents permettent d'entraîner les sels hors de la zone radiculaire qui, autrement, s'accumuleraient peu à peu et interdiraient bientôt toute culture. Vu l'évaporation élevée, les eaux remontées produisent d'importantes quantités de sels, ce qui diminue les surfaces des terrains propices à la culture.

4-3-L'apparition des maladies hydriques

L'utilisation des eaux polluées des puits traditionnels dans l'irrigation et la consommation domestique provoquent l'apparition de plusieurs problèmes de santé publique, notamment les maladies à transmission hydrique, selon la direction de la santé d'El Oued (2008), 52 états de Typhoïde et un état de Dysenterie amibienne en 2005, 21 états ont été recensés de Typhoïde, 2 état de Dysenterie amibienne et un état de Hépatite viral en 2007 (tableau 7).

Tableau 7: Répartition des cas de maladies à transmission hydrique dans quelques communes d'El Oued.

Commune	2005			2006			2007		
	Typhoïde	Dysenterie amibienne	Hépatite virale	Typhoïde	Dysenterie amibienne	Hépatite virale	Typhoïde	Dysenterie amibienne	Hépatite virale
El Oued	49	00	00	41	00	00	18	02	01
Trifaoui	00	00	00	02	00	00	00	00	00
Bayadha	03	00	00	06	00	00	03	00	00
O Alenda	00	00	00	00	01	00	00	00	00
Robbah	00	01	00	05	00	00	00	00	00
TOTAL	52	01	00	48	01	00	21	02	01

Direction de la santé d'El Oued, (2008)

Conclusion

La région d'El Oued est caractérisée par un climat Saharien de type hyperaride, où la saison sèche s'étale sur toute l'année. Les pluies sont très faibles (61 mm). C'est pour cette raison les Ghouts ont été implantés dans le bas fond de l'ancien oued, afin d'atteindre la nappe phréatique pour l'approvisionnement en eau. La majorité des Ghouts sont localisés au sud de la région d'El Oued, ce sont de même les plus profonds.

La croissance de la population et l'extension des cultures ont conduit à foré des nouveaux forages dans les nappes profonds (CT et CI), ce qui créé le phénomène de la remonté de la nappe phréatique dans la région, la conséquence de cette excès d'eau a pris des proportions alarmantes, concernant la dégradation de l'environnement et la pollution, dont 78% des Ghouts sont affectées à El Oued, la situation est très spectaculaire au sud où il est estimé de 94% des Ghouts dégradés à Bayadha et 47% à Robbah. L'apparition des maladies hydriques est aussi l'un des conséquences de la remontée de la nappe phréatique, dont la région de Souf a été soufrée de Typhoïde.

PARTIE II : LA TELEDETECTION SPATIALE

Chapitre 1: Généralités sur la télédétection spatiale et le satellite Landsat

La télédétection spatiale est utilisée de manière croissante dans différents domaines; des dizaines de satellites d'observation de la terre sont en orbite et fournissent en permanence des milliers d'images pour des applications militaires et civiles, telles que la gestion des ressources naturelles, la climatologie, l'océanographie, la géographie ou la cartographie ...etc.

1- Définition de la télédétection

C'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. Elle 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 (CCT, 2015).

2- Principes de base de la télédétection

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme, la télédétection est le résultat de l'interaction entre trois éléments fondamentaux: une source d'énergie, une cible et un vecteur (fig. 23) (Big n° 03, 2015)

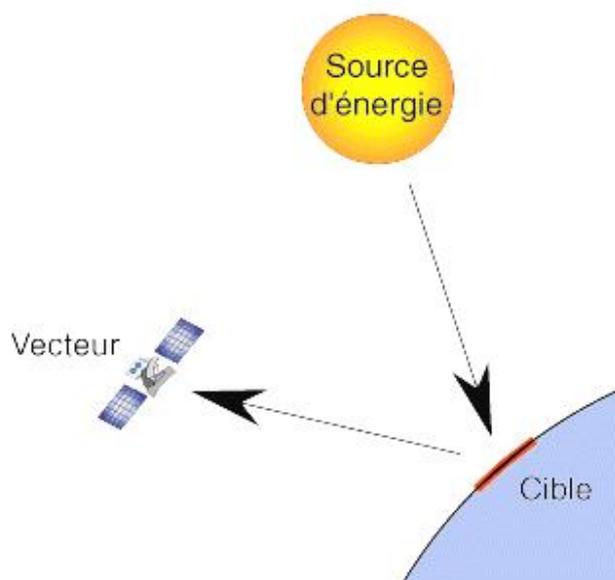


Figure 23: Principe de base de la télédétection (Big n° 03, 2015)

- **La cible :** Est la portion de la surface terrestre observée par le satellite. Sa taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.
- **La source d'énergie :** Est l'élément qui "éclaire" la cible en émettant une onde électromagnétique (flux de photons). Généralement, la source d'énergie est le soleil. Néanmoins, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite, dans ce cas le satellite lui-même est source d'énergie. Il est également possible de mesurer la

chaleur qui se dégage à la surface de la cible (infrarouge thermique), auquel cas c'est la cible qui est source d'énergie (bien qu'il s'agisse d'énergie solaire stockée et réémise).

- **Le vecteur** (plate-forme de télédétection) : mesure l'énergie solaire (ou le rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible, le vecteur peut-être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36.000 km. Les capteurs embarqués sur le satellite mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoie l'image sur terre vers des stations de réception. On parle de **télédétection passive** lorsque le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, et de **télédétection active** lorsque le satellite émet une onde vers la cible et en mesure l'écho.

3- Domaines d'application de la télédétection

La télédétection s'applique à toutes les disciplines qui nécessitent d'appréhender la répartition spatiale d'un phénomène, soit pour déterminer un état à un instant donné, soit pour suivre une évolution plus au moins rapide d'un phénomène (tableau, 8).

Tableau 8 : Domaine d'application de la télédétection

Domaines	Exemples d'applications
Géosciences	Géologie, pédologie, géomorphologie.
Météorologie	Vitesses des vents, précipitations, températures, détection des cyclones et orages.
Océanographie	Couleur de l'eau, turbidité, hauteur des vagues, courant marin, phytoplancton, pollution marine.
Foresterie	Couverture forestière, santé des forêts, impacts après ouragans.
Cadastre/Urbanisme	Couverture du sol, urbanisation, contrôle des autorisations (piscines, zones bâties...).
Agriculture	Identification des plantations, évaluation de la production.
Environnement	Etudes d'impact, détection des changements.
Biologie/Écologie	Classification des types de végétaux, étude du corail, cartographie des habitats.
Télécommunication	Carte de répartition des antennes de téléphonie mobile.
Hydrologie	Comportements de l'eau à la surface du sol et dans le sol, cycle de l'eau.
Archéologie	Cartographie des sites archéologiques
Santé	Prévision des épidémies, relations avec les changements globaux.
Humanitaire	Pré-alerte de famines: réfugiés (camps)...
Catastrophes environnementales	Feux de forêts, éruptions volcaniques, sécheresses, marées moires.
Changements globaux	Désertification, variation climatiques, compositions de l'atmosphère.

UNIGE, 2004, Peduzzi, 2009 in Abdelbaki A, (2012).

4- Processus de la télédétection

La figure 24 explique le processus de la télédétection spatiale selon CCT (2015).

4-1 Source d'énergie ou d'illumination (A): Elle est à l'origine de tout processus de télédétection, c'est une source d'énergie pour illuminer la cible. Souvent, cette source d'énergie est le soleil, mais le satellite lui-même peut être source d'énergie.

4-2 Rayonnement et atmosphère (B): Durant son parcours « aller » entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère, une seconde interaction se produit lors du trajet « retour » entre la cible et le capteur.

4-3 Interaction avec la cible (C): 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. Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique. Cette caractéristique s'appelle le « comportement spectral ». En télédétection, on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre « empreinte digitale » dans le spectre électromagnétique, en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même.

4-4 Enregistrement de l'énergie par le capteur (D): Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible mais embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion, pour être enfin enregistrée sous format numérique.

4-5 Transmission, réception et traitement (E): Cette information enregistrée par le capteur est transmise à une station de réception située au sol, où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

4-6 Interprétation et analyse (F): Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

4-7 Application (G): La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour comprendre la cible, c'est-à-dire la portion d'espace étudiée pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

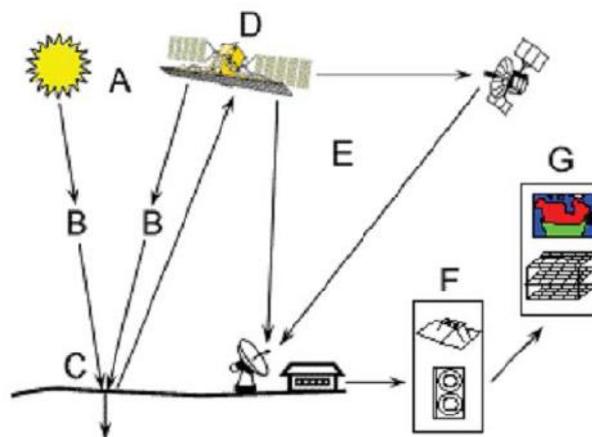


Figure 24: Processus de la télédétection (CCT, 2015).

5- Caractéristiques des images satellitaires

D'après CCT (2015), une image spatiale est une représentation graphique; quel que soit la longueur d'onde ou le dispositif de télédétection qui ont été utilisés pour capter et enregistrer l'énergie électromagnétique, l'image prend la forme d'une matrice dont chaque élément est représenté par un pixel ayant sa propre valeur radiométrique, parmi les caractéristiques de l'image satellitaire, nous distinguons les différentes résolutions suivantes:

- La résolution spatiale : C'est la distance ou l'angle minimal qui doit séparer deux points contigus pour qu'ils soient correctement discernés par un système de mesure ou d'observation.
- La résolution spectrale : C'est le pouvoir de séparation d'un spectrographe. Plus la résolution spectrale est grande, plus le spectre obtenu sera détaillé, et plus on pourra y mesurer des raies de faible intensité ou profondeur.
- La résolution temporelle : C'est le temps que prend un satellite pour observer de nouveau la même scène à partir du même point dans l'espace.

6- Le satellite Landsat

Les images satellitaires captées par Landsat sont des données d'observation de la terre de résolution moyenne. Ces données sont acquises par des capteurs montés sur le satellite. Une image satellitaire est composée de bandes qui peuvent être différemment combinées suivant les besoins d'études. Ils existent 4 générations des capteurs Landsat : MSS, TM (Landsat 4 et 5), ETM+ (Landsat 7) et OLI (Landsat 8) (tableau 9).

Tableau 9: Les caractéristiques des satellites Landsat 4, 5 et 7.

	Landsat (MSS)	Landsat (TM)	Landsat 7 (ETM+)
	PAYS	USA	USA
DATE DE LANCEMENT	1972	1984	15 Avril 1999
ALTITUDE		705 km	705 km
CAPTEURS	MSS	TM	ETM+
TYPE	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage
BANDES SPECTRALES		1.[0.45-0.52 µm]	1.[0.45-0.52 µm]
		2.[0.52-0.60 µm]	2.[0.52-0.60 µm]
		3.[0.63-0.69 µm]	3.[0.63-0.69 µm]
	MSS-1 [0.5 – 0.6 µm]	4.[0.76-0.90 µm]	4.[0.76-0.90 µm]
	MSS-2 [0.6 –0.7 µm]	5.[1.55-1.75 µm]	5.[1.55-1.75 µm]
	MSS-3 [0.7– 0.8 µm]	6.[10.4-12.5 µm]	6.[10.4-12.5 µm]
	MSS-4 [0.8–0.11 µm]	7.[2.08-2.35 µm]	7.[2.08-2.35 µm]
		Pan [0.52-0.90 µm]	
RESOLUTION SPATIALE	80x80 m	30 ×30 m Bande 6 : 120 × 120 m	30 × 30 m Bande 6 : 120 × 120 m Panchro : 15 × 15 m
DIMENSION D'UNE SCENE STEREOSCOPIE	185 × 172 km	185 × 172 km	185 × 172 km
FREQUENCE DE PASSAGE	16 jours	16 jours	16 jours
VOCATION	Végétation et occupation du sol.	Végétation et occupation du sol.	Végétation, occupation du sol et cartographie.
PARTICULARITE		Grande variété spectrale.	Grande variété spectrale.

CCT, 2015

Le type et la qualité des images Landsat ont évolué au fil des années selon les capteurs construits par ordre chronologique.

6-1 Multi Spectral Scanner (MSS)

Les images MSS sont les plus anciennes (1972) et de qualité la plus faible des trois capteurs Landsat. Le capteur MSS monté sur les satellites Landsat 1 à 5 collectes les images en seulement 4 bandes multi-spectrales (deux bandes visibles, deux proches infrarouges) (tableau 10), à une résolution spatiale de 80 mètres pour le Landsat (1-3) et de 82 mètres pour le Landsat (4-5), la scène couvre une surface de 180 x 172 km², la prise des images MSS a cessé en 1982 à cause de l'utilisation des données TM qui a commencé avec Landsat 4 (CCT, 2015).

Tableau 10: Les bandes du Capteur MSS.

Bandes		Longueur d'ondes (microns)
Landsat 1, 2, 3	Landsat 4, 5	
MSS 4	MSS 1	0,5 – 0,6 (vert)
MSS 5	MSS 2	0,6 – 0,7 (rouge)
MSS 6	MSS 3	0,7 – 0,8 (proche infrarouge)
MSS 7	MSS 4	0,8 – 1,1 (proche infrarouge)

CCT, 2015

6-2 Thematic Mapper (TM)

Une scène TM couvre une surface de 172 x185 km², la qualité des images TM a été améliorée par rapport au MSS. Le capteur TM à bord des satellites Landsat 4 et 5 produit des images depuis 1984, chaque image est constituées de 7 bandes multi-spectrales: 3 bandes visibles (bande 1: bleu, bande 2: verte, bande 3: rouge), une bande proche infrarouge (bande 4), deux bandes moyennes infrarouges (bandes 5 et 7) et une bande infrarouge thermique (bande 6). Les bandes de 1 à 5 et 7 ont une résolution spectrale de 30 mètres, alors que la bande 6 est de 120 mètres (tableau 11) (CCT, 2015)

Tableau 11: Caractéristiques et applications des bandes spectrales du capteur TM.

Bandes	Domaine Spectral (µm)	Résolution	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	30 m	Discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie /cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	30 m	Cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	30 m	Discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles; (absorption de chlorophylle); identification des traits culturels et urbains
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	30 m	Identification des types de végétation et de plantes; santé et contenu de la masse biologique; délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol
TM 5	1,55 - 1,75 (IR de courte longueur d'onde)	30 m	Sensible à l'humidité dans le sol et les plantes; discrimination entre la neige et les nuages
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	120 m	Discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique; cartographie thermique
TM 7	2,08 - 2,35 (IR de courte longueur d'onde)	30 m	Discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation

CCT, 2015

6-3 Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+)

Le capteur ETM+ lancé avec le satellite Landsat 7 fournit la meilleure qualité des images Landsat. Similaire au capteur TM, le capteur ETM+ apporte les améliorations suivantes: Une bande supplémentaire qui est la bande panchromatique (bande 8) à une résolution spatiale de 15 mètres; une amélioration de la résolution de la bande infrarouge thermique (bande 6) est subdivisée en une bande avec un gain élevé et une bande à faible gain rendu à 60 mètres (Taylor, 2009 in Kerbani, 2013).

7- La composition colorée

Toutes les couleurs sont formées par l'addition de la lumière des trois couleurs primaires additives rouge, vert et bleu. En partant du noir, c'est à dire l'absence de lumière, on va ajouter des quantités variables de lumières rouge, verte et bleu pour afficher la couleur désirée. Chaque couleur est donc une combinaison singulière des trois couleurs primaires, la couleur blanche étant l'addition des trois couleurs primaires à intensité maximale, ce procédé est appelé « synthèse tri chromique additive » (fig. 25).

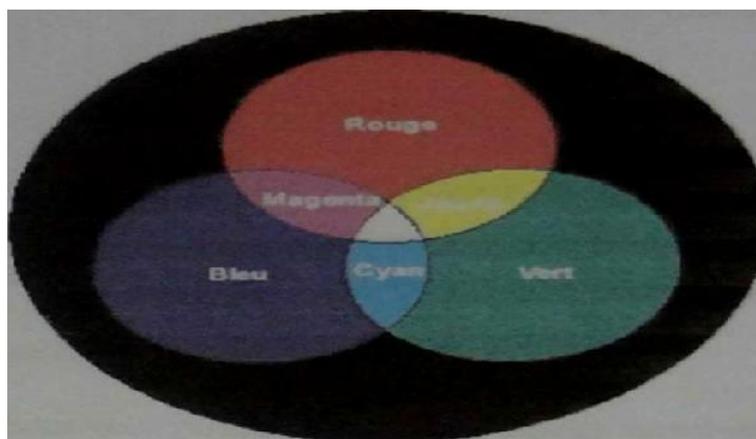


Figure 25: Les couleurs fondamentales de la composition colorée (CCT, 2015).

Le tableau 12, montre les différentes combinaisons des bandes TM pour la composition colorée selon le domaine d'étude. Tandis que le tableau 13, montre les différentes couleurs obtenues par la combinaison de différents canaux Landsat.

Tableau 12: La composition colorée selon le domaine d'étude.

Domaine d'étude	Système de couleur RVB		
	Rouge	Vert	Bleu
Couverture végétale	TM-4	TM-3	TM-2
Incendie de forêts	TM-7	TM-4	TM-2
Plans d'eau	TM-5	TM-2	TM-1
Sols et métaux	TM-7	TM-3	TM-2
Etudes urbaines	TM-6	TM-4	TM-7
Etudes urbaines	TM-3	TM-2	TM-1
Etude des eaux	TM-3	TM-2	TM-1

ERDES, (2009)

Tableau 13: Couleurs obtenues par la combinaison de différents canaux Landsat.

Cible	Couleur	
	R: 4 V:3 B:2	R: 7 V:4 B:3
Végétation verte	Rouge	Vert
Eau profonde et pure	Noir	Bleu foncé, noire
Eau non profond pure	Bleu claire	Bleu claire
Neige ou nuage	Blanche	Blanche
Villes et bâti	Bleu	Violet, gris
Sable	Blanche	Blanche
Piste	Blanche	Marron
Ombre	Noir	Noir
Cibles rouges	Jaune	Violet
Cibles noires	Noir	Rouge

ERDES, (2009)

8- La chaîne de traitement des images satellitaires

Avant que les images ne soient prêtes à l'interprétation, il faudrait qu'elles passent par une chaîne de traitement visant l'élimination des défauts contenus dans les données brutes. Le but est de classer les objets en ensembles homogènes suivant un ou plusieurs critères tels que la couleur, la forme et la texture. Cette chaîne de traitement comporte deux grandes étapes:

8-1 Les prétraitements

Les prétraitements sont des opérations effectuées sur les images de façon à les corriger ou les améliorer géométriquement et thématiquement. Il existe trois types de prétraitements: les corrections radiométriques, les corrections géométriques et les corrections atmosphériques : Les corrections géométriques sont appliquées sur les images pour réduire les déformations géométriques intervenues lors de l'enregistrement de la scène, les distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre, variation d'altitude au sol, réfraction atmosphérique...). Les distorsions dues aux erreurs des systèmes de mesure. Les distorsions provenant des mouvements de la plate-forme (roulis, tangage, lacet...) (UVED, 2008).

Les corrections atmosphériques : Le principe est de convertir les valeurs numériques (en niveau de gris) de la scène en valeur de luminance et par la suite éliminer les effets perturbateurs atmosphériques qui donnent une mesure physique de la réflectance au niveau de la surface visée.

Les corrections radiométriques : Permet de réduire les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (nuages, poussière atmosphérique, vent de sable, etc.).

8-2 Classifications

L'étude de la dynamique des éléments de l'espace est axée sur la bonne représentation des unités principales sur une image. Leur variation hétérogène spatiale, spectrale et temporelle exige de les présenter de façon homogène, pour mieux interpréter les objets d'une image. Cette représentation dite «classification» est utilisée pour la production de cartes thématiques (fig. 26), où elle offre une analyse plus détaillée de l'image. Elle peut être effectuée sur un ou plusieurs canaux d'une image pour séparer les divers éléments d'une image en fonction de leurs caractéristiques spectrales (Ducrot, 2005).

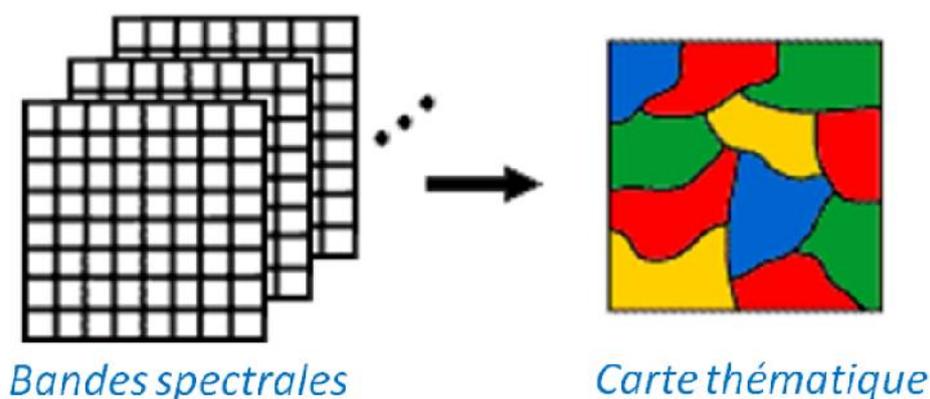


Figure 26: Principe de classification (Francisco E G, 2013).

8-2-1 Classification non-supervisée

Les données sont classées en fonction de leurs caractéristiques spectrales, sans aucune information a priori sur la nature des objets à classer. Le principe de la classification non-supervisée est d'attribuer automatiquement chaque pixel à une classe suivant sa signature spectrale. L'algorithme le plus utilisé est le cluster ISODATA qui utilise de multiples itérations (répétitions). Après la classification, une interprétation visuelle est requise pour assigner à chaque cluster une description cohérente, et éventuellement regrouper manuellement les classes superflues. (Girard, 1989).

8-2-2 Classification supervisée

Les données sont classées vis à vis d'objets de référence qui sont choisis par l'utilisateur. Ces objets (classes) peuvent être soit définis à partir de comptes numériques sur un histogramme à plusieurs dimensions (méthode hyper cube, cross-plots en anglais), soit à partir de polygones d'entraînement repérés géographiquement sur l'image (zones-test, zones d'apprentissage) (Girard et Girard, 1999).

9- Indices de végétation: En télédétection, les indices font partie des méthodes de traitement que l'on appelle « les transformations multi spectrales ». Ils consistent à convertir les luminances mesurées au niveau du capteur satellitaire en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement (Abdelbaki, 2012).

Les indices de végétation, comme tous les autres indices, reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Ils sont très utilisés pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, ainsi que pour estimer certains paramètres biophysiques des couverts végétaux (la biomasse, l'indice de surface foliaire...etc.) (Abdelbaki, 2012).

9.1 Principe de calcul des indices de végétation

Le calcul des indices s'appuie essentiellement sur les écarts de réflectance constatés dans les différentes bandes spectrales, ainsi que sur la variabilité des réflectances au sein de la même bande spectrale, qui traduisent des surfaces de nature différente. Par conséquent, on utilise principalement les différences des propriétés optiques de la végétation dans le rouge et le proche infrarouge.

Les réflectances dans le proche infrarouge augmentent avec la présence de la végétation (forte réflexion par le parenchyme lacuneux), tandis que celles dans le rouge diminuent (pic d'absorption de la chlorophylle).

9.2. Principaux indices de végétation

De nombreux indices de végétation ont été développés et utilisés depuis une quarantaine d'années (Bannari et *al.*, 1995). Le tableau 14 résume les indices de végétation les plus utilisés (Girard et Girard, 1999).

Tableau 14: Indices de végétation définis à partir de données de télédétection.

Les indices simples	
$DVI = \rho_{FIR} - \rho_R$	Bacour <i>et al.</i> (2006)
$RVI = \frac{\rho_{FIR}}{\rho_R}$	Krieger <i>et al.</i> (1969) ; Jordan (1969)
$NDVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R}$	Rouse and Haas (1973) ; Tucker (1979)
Les indices de stress hydrique	
$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{FIR}}$	Hunt and Rock (1989)
$NDWI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{FIR} + \rho_{MIR}}$	Gao (1996)
Les indices prenant en compte l'influence des sols	
$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)$	Richardson and Wiegand (1977)
$SAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Huete (1988)
$TSAVI = \frac{a(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{FIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$	Baret <i>et al.</i> (1989)
$MSAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Qi <i>et al.</i> (1994)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$ARVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{vb}}{\rho_{FIR} + \rho_{vb}}$	Kaufman and Tanré (1992)
$GEMI = \eta(1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0,25}{1 - \rho_{rouge}}$	Pinty et Verstraete (1992)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$EVI = G \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$	Huete <i>et al.</i> (1999)
Les indices prenant en compte les températures de surface	
$TDVI = \frac{T_S - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$	Sandholt <i>et al.</i> (2002)

Girard et Girard, (1999)

Chapitre 2: Données, matériel et méthode

1-Données

Le suivi de l'évolution de Ghouts dans la région d'El Oued, a requis l'acquisition de données télédéctées multi dates des satellites Landsat 5 prises par le capteur Thematic Mapper « TM », deux images satellitaires (1984 et 2011) ont été employées couvrant une période de 28 ans (tableau 15), dont l'acquisition est en accès ouvert via le portail électronique « Global Land Cover Facility », ainsi que sur le site de l'agence américaine des investigations géologiques (www.usgs.gov).

Outre la disponibilité des images à accès gratuit, le choix d'avoir recours au satellite Landsat est dû à la moyenne résolution spatiale de ses images (chaque pixel sur l'image correspond à 30 mètres en réalité), ce qui permet d'élaborer un suivi à une échelle régionale, la sélection des scènes est fonction surtout de leur disponibilité, aussi de leur qualité (absence de nuages et de perturbation atmosphériques) et résolution spectrale: 7 bandes spectrales dont 3 dans le domaine visible (bandes 1, 2 et 3) et 4 bandes dans le domaine infrarouge (bandes 4, 5, 6 et 7).

Les images acquises sont préalablement géo référencées et projetées en système « Universal Transverse Mercator » UTM zone 32, ellipsoïde de Clarke 1880, dont l'unité de mesure est le mètre, les images sont de même radiométriquement rectifiées.

Tableau 15 : Caractéristiques des images Landsat 5 de la zone d'étude.

Identification de l'image	Capteur Landsat	Centre de scène Path/Row	Date de la prise de vue	Résolution spatiale (m)	Système de projection
LT51930371984255XXX04	TM	193/037	11-09-1984	30	UTM zone 32N
LT51930372011169MPS00	TM		18-06-2011		

2-Matériel

Les processus liés à la visualisation, prétraitement et traitement des deux images satellitaires ont été réalisés en utilisant le logiciel ENVI 4.7 (un software dédié au traitement de données télédéctées), et le logiciel Arcgis Desktop 10.2 (Logiciel de télédétection spatiale et de Système d'Information Géographique SIG).

3-Méthode

3-1 Extraction de la zone d'étude

La délimitation de la zone d'étude a permis l'obtention de deux scènes (1984 et 2011) d'égale dimension (508×671 pixel) couvrant une superficie de 307 km² (30.700 hectares) (fig. 27), la zone retenue pour l'étude englobe de variables superficies de huit (8) parmi les communes de la

wilaya d'El Oued: Kouinine, El Oued, Trifaoui, Bayadha, Oued El Alenda, Robbah, Nekhla, et El Oglâ.

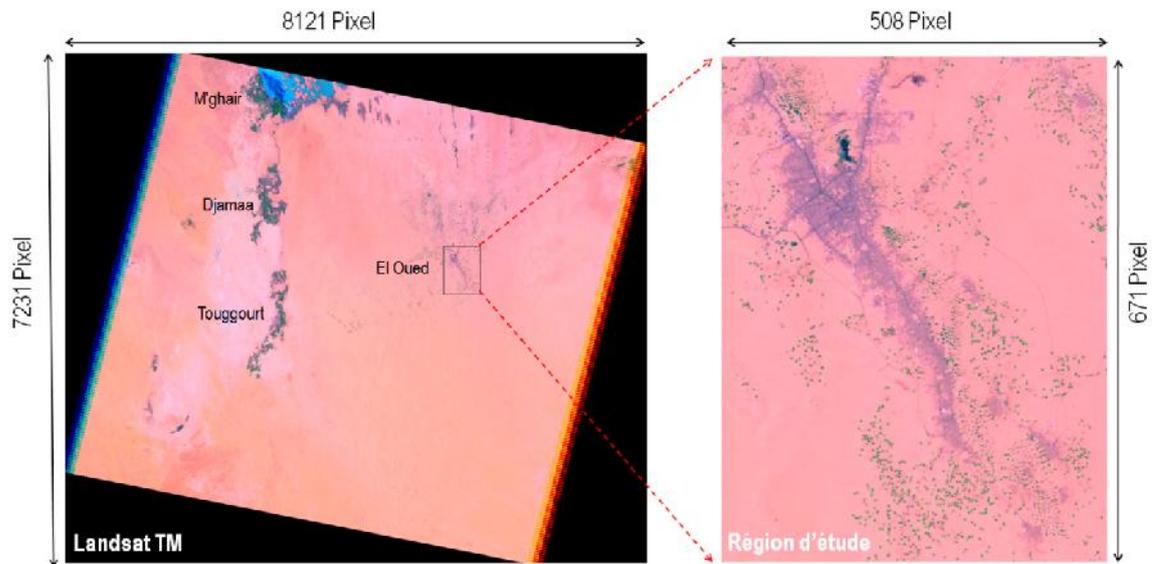


Figure.27: Extraction de la région d'étude à partir de l'image satellite de Landsat Thematic Mapper.

3-2 Choix des bandes spectrales Landsat 5, et composition colorée

Le choix des canaux multi spectraux pour les deux scènes Landsat (1984 et 2011) est fait en retenant les canaux 1 (bleu), 3 (rouge) et 4 (proche infrarouge) pour une meilleure visualisation des éléments de l'espace (aspect proche des couleurs naturelles des éléments de l'espace), la combinaison de ces trois bandes permet la visualisation de tout couvert végétal en couleur verte, les sables et terrains nus en couleur jaunâtre, et l'espace bâti (tissu urbain) en violet. Evidemment, la nuance de couleur est due à la densité et l'abondance de chaque élément (fig. 28).

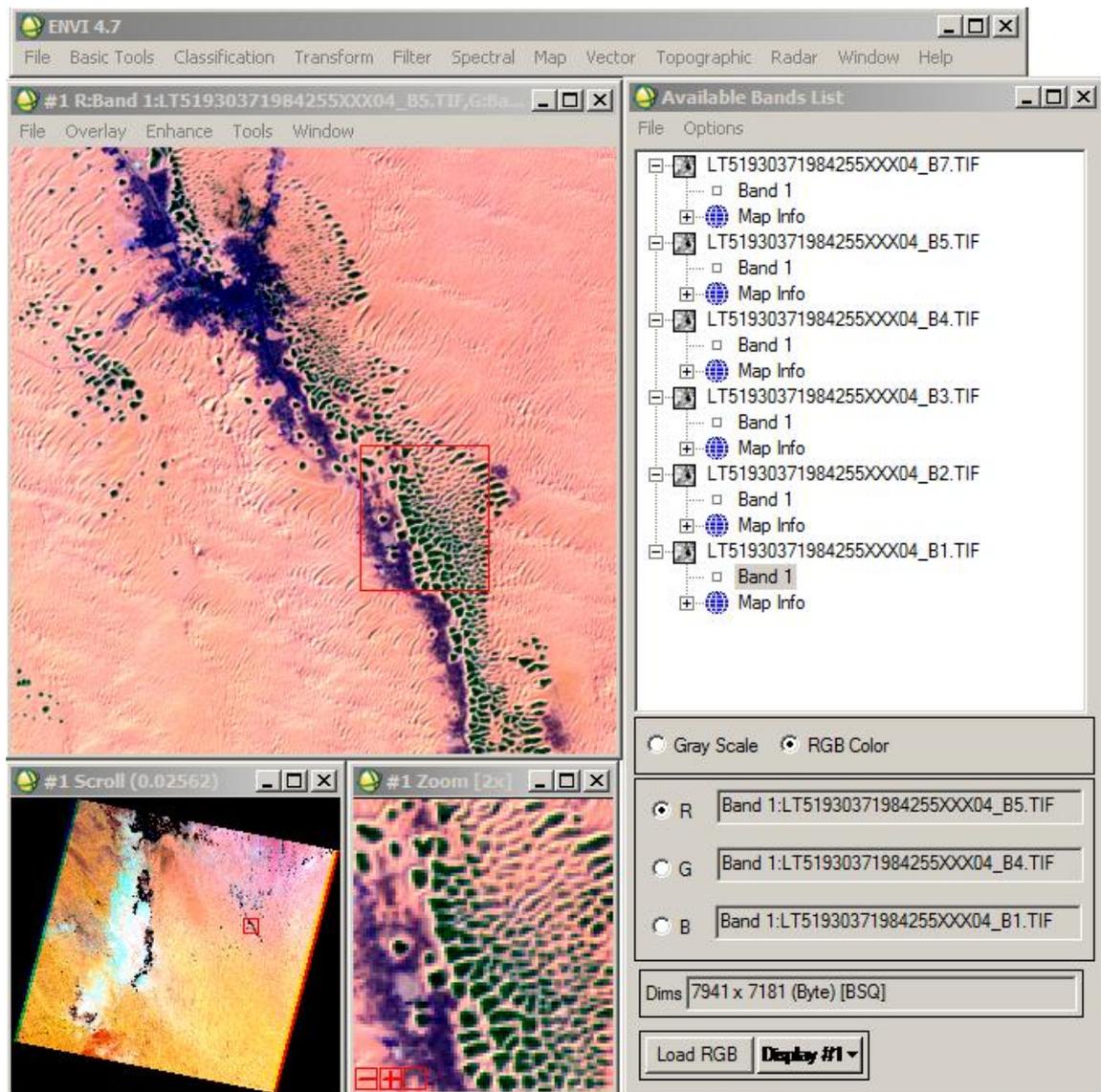


Figure 28: Mode de visualisation des scènes satellitaires sous ENVI.

3-3 Extraction de l'information « couvert végétal » à partir de l'indice de végétation par différence normalisée NDVI

Les indices de végétation expriment l'abondance et l'activité de la végétation verte comme réponse à l'existence de la chlorophylle.

L'indice de végétation par différence normalisée (en anglais: Normalized Difference Vegetation Index) est calculé selon la formule de Rouse et al. (1974) comme suit :

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (3)$$

Où NIR est la réflectance de la bande proche infrarouge (bande 4), et RED est la réflectance de la bande rouge (bande 3) du spectre.

Théoriquement, la valeur de NDVI est comprise entre (-1) et (+1), les valeurs positives indiquent une végétation verte en bonne santé, tandis que les valeurs négatives et proches du zéro indiquent des terrains non végétale (sols nus, eaux, tissu urbain et bâti). Plus que la valeur de NDVI est proche de (+1), plus qu'elle indique une végétation plus dense.

Nous avons appliqué l'algorithme NDVI pour chacune des images Landsat, afin de pouvoir extraire la classe du couvert végétal dans la zone d'étude en 1984 et en 2011.

3-4 Extraction de la classe « Ghout » en 1984 et 2011

Le calcul direct de NDVI à partir de l'image Landsat de 1984 a permis la délimitation des superficies occupées par les « Ghouts », tandis que pour l'image de 2011, nous avons appliqué un « masque spatiale » qui élimine (cache) toute zone en dehors du domaine des « Ghouts » initialement déterminé en 1984, ceci est pour éviter toute confusion entre les surfaces occupées par le Ghout et toute nouvelle culture éventuellement implantée après 1984.

3-5 Extraction de la classe « culture irriguée » 2011

La classe du couvert végétal dans l'image Landsat de 2011 est composée de Ghouts et de cultures irriguées qui ne figurent pas sur l'image de 1984, afin d'isoler les nouvelles cultures irriguées figurant sur l'image de 2011, nous nous sommes servi de la surface « Ghout » en 1984 comme masque spatiale. Ceci est pour éviter que les valeurs de NDVI en 2011 ne soient surestimées suite à la considération des anciennes cultures (avant 2011).

3-6 Calcul de la superficie relative à la classe « Ghout » en 1984 et 2011

La surface occupée de « Ghout » a été calculée pour chacune des communes retenues dans l'étude, le calcul est fait en se basant sur les cartes réalisées à partir des valeurs de NDVI. Une comparaison bi-date (entre 1984 et 2011) et intra-communes est faite.

3-7 Estimation des superficies de Ghouts disparues ou dégradés entre 1984 et 2011

Cette information peut être obtenue en utilisant l'une ou les deux méthodes suivantes :

- Après avoir calculé les surfaces occupées de Ghouts pour chaque date et chaque commune, il est devenu possible de calculer la simple différence par soustraction :
Ghout disparu = Ghout (1984) – Ghout (2011)
- Application de la technique de la détection de changement (anglais. *Change detection*).

Sous le logiciel ENVI 4.7, cet algorithme peut calculer la différence spatiale entre deux images qui doivent contenir la même information et avoir la même résolution

spatiale. Pour cette étude, la carte de végétation en 1984 représentait l'état initial, la carte de végétation en 2011 représentait l'état final. En résultat, 3 classes sont définies : surfaces à changement positif (progression de la végétation), surfaces à changement négatifs (régression de la végétation) et surfaces sans changement. Les calculs sont ensuite réalisés pour chaque classe et chaque commune.

3-8 Suivi du changement de l'espace bâti entre 1984 et 2011

L'objectif ici est de mettre en vigueur la dynamique de l'espace urbain dans la région d'El Oued, en tant que facteur de dégradation de Ghouts, pour ce faire, l'espace occupé de bâti et de tissu urbain est délimité à partir des deux images satellitaires, les statistiques bi-dates et entre communes sont ensuite discutées.

PARTIE III: RESULTATS ET DISCUSSION

1-Composition colorée et interprétation visuelle des images satellitaires

Les figures 29 et 30 représentent le principe de la composition colorée, dont l'objectif est d'avoir une synthèse d'information en vue de faire une bonne discrimination des types d'objets à étudier. Il s'agit dans notre étude de la classe végétale « Ghout ». Dans cette étude, la composition colorée des bandes moyennes infrarouges (bandes 5), proche infrarouge (bande 4) et rouge (bande 3) ont été utilisées, permettant de visualiser tout couvert végétal en couleur verte, dont l'intensité du vert est proportionnelle à l'abondance de la chlorophylle et donc à la densité végétale.

A partir de la figure 29 (Ghout en 1984), on peut constater la dégradation (diminution de l'intensité du vert) voire même la disparition de Ghout en 2011 (fig. 30). On peut de même noter l'apparition de nouvelles cultures en 2011 qui ne figurent pas en 1984.

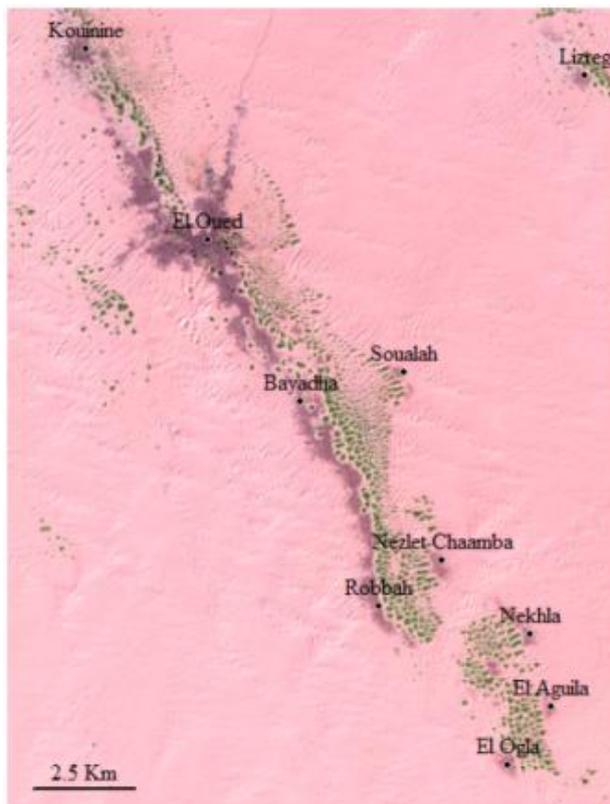


Figure 29: Composition colorée des bandes 543 de l'image Landsat TM 1984.

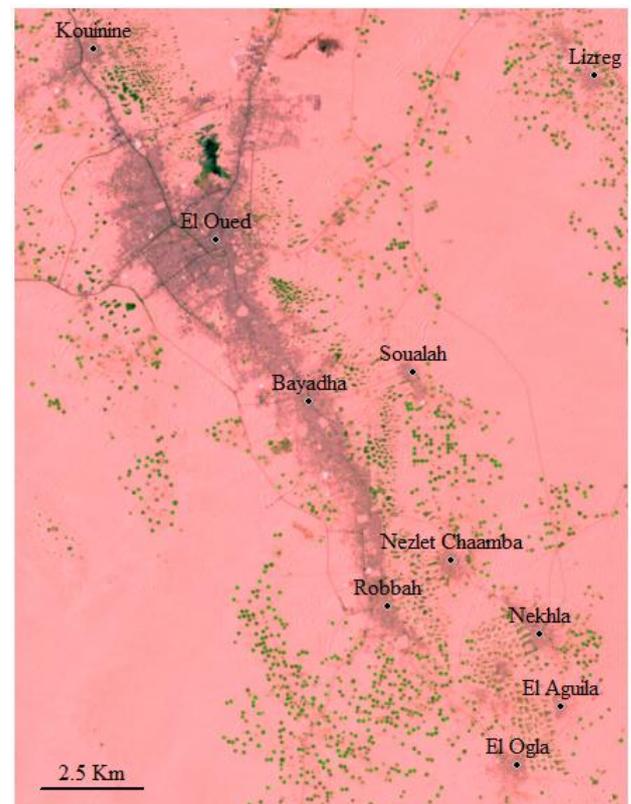


Figure 30: Composition colorée des bandes 543 de l'image Landsat TM 2011.

2- Carte des valeurs de NDVI

L'indice de végétation NDVI est calculé par un modèle spécifique sous le logiciel ENVI 4.7, le résultat de calcul est un néo canal (fig. 31). En 1984, le NDVI oscille entre (-0,85) et (0,93), tandis qu'en 2011 il est compris entre (-0,50) et (0,98). D'une manière générale, pour les deux néo canaux de l'indice de végétation NDVI, on constate un changement de la superficie du couvert végétal pendant la période 1984-2011.

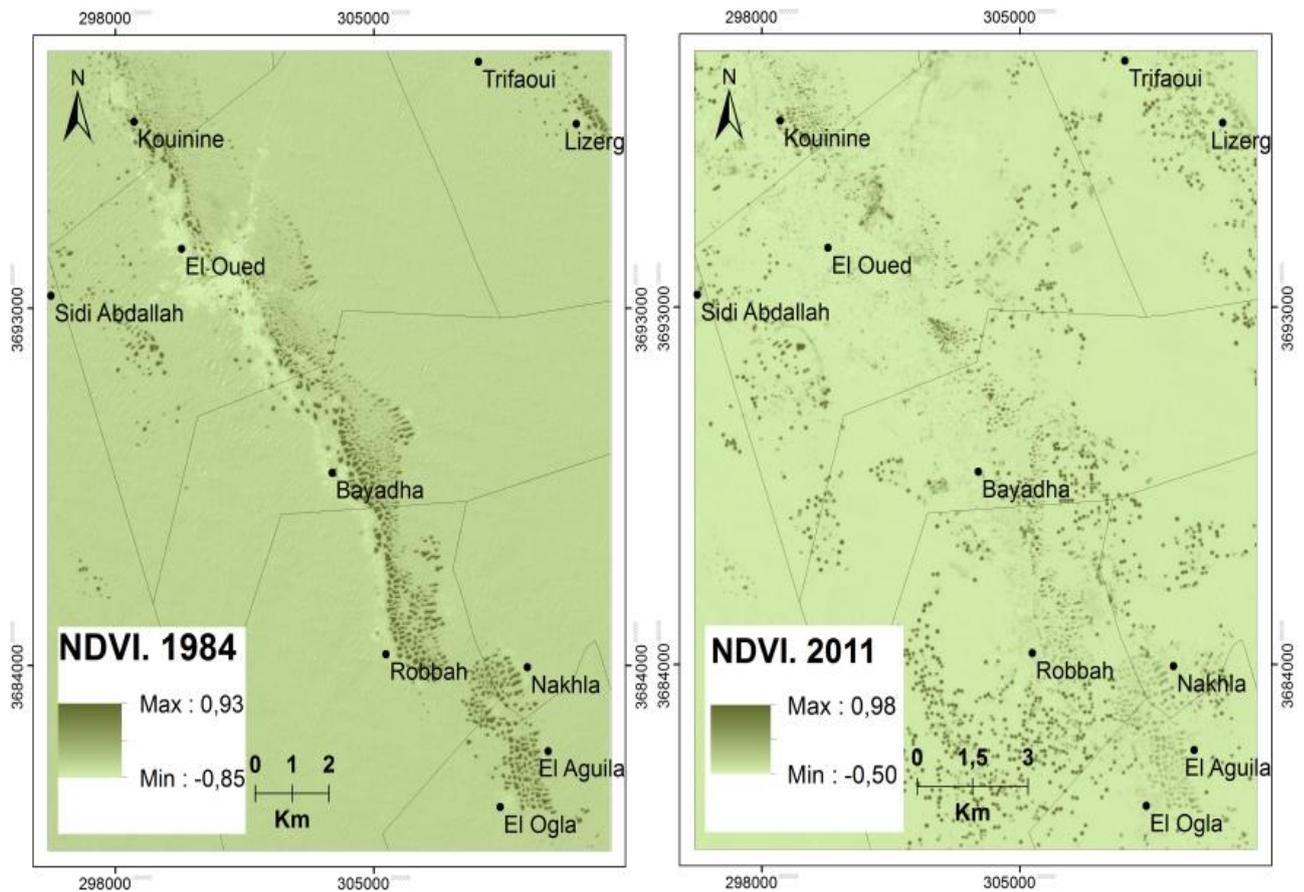


Figure 31: Cartes de valeurs de NDVI dans la région d'El Oued en 1984 et 2011.

3- Extraction de la végétation à partir de NDVI

A partir des cartes de valeurs de NDVI, on a pu extraire les cartes de la végétation en 1984 et 2011, permettant la quantification et la distribution spatiale. En 1984, seuls les Ghouts existent dans la région d'étude (fig. 32), ils se localisent le long de la dépression du Souf (Nord-Sud) et se caractérisent par une continuité spatiale avec une densité relativement considérable au Sud de la région d'étude en comparaison avec les régions plus au Nord. Selon Lucien (1947), les Ghouts sont surtout implantés dans les Shounes, ces dernières se localisent au sud, c'est pourquoi les Ghouts sont plus abondants dans les communes de Bayadha, Robbah et El Ogla au sud.

La carte de l'occupation du sol en 2011 montre que les Ghouts sont moins denses avec une discontinuité spatiale (fig. 33), les surfaces occupées du végétal ne sont plus situées aux bas-fonds de la vallée du Souf mais se répartissant sur toute la région, ces surfaces correspondent aux nouvelles mises en valeur destinées aux cultures irriguées et intensives (fig. 32). Similairement aux Ghouts, les cultures irriguées sont de même plus localisées au sud, ceci est aussi dû à disponibilité de ressource d'eaux de la nappe phréatique proche, ce qui minimise les coûts d'exploitation (fig. 32 et 34).

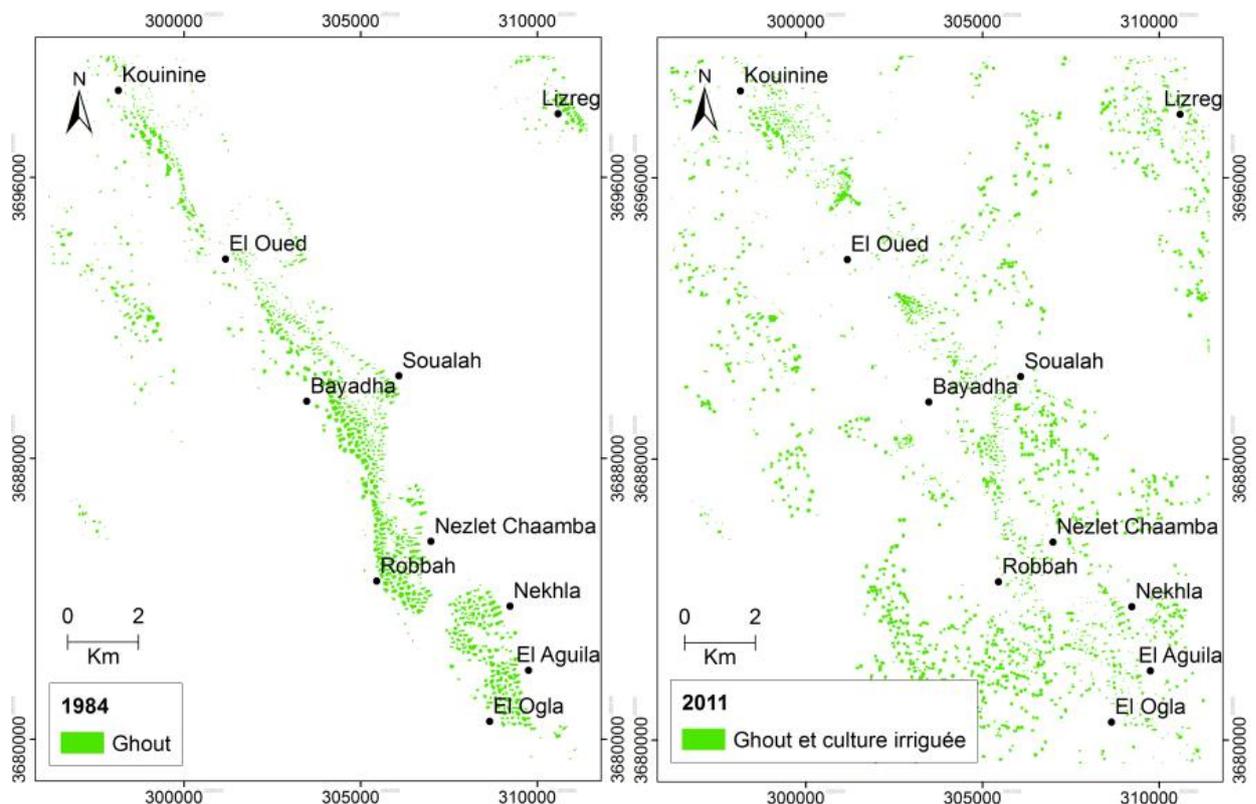


Figure 32: Cartes de végétation dans la région d'El Oued en 1984 et 2011, extraites des cartes de NDVI.

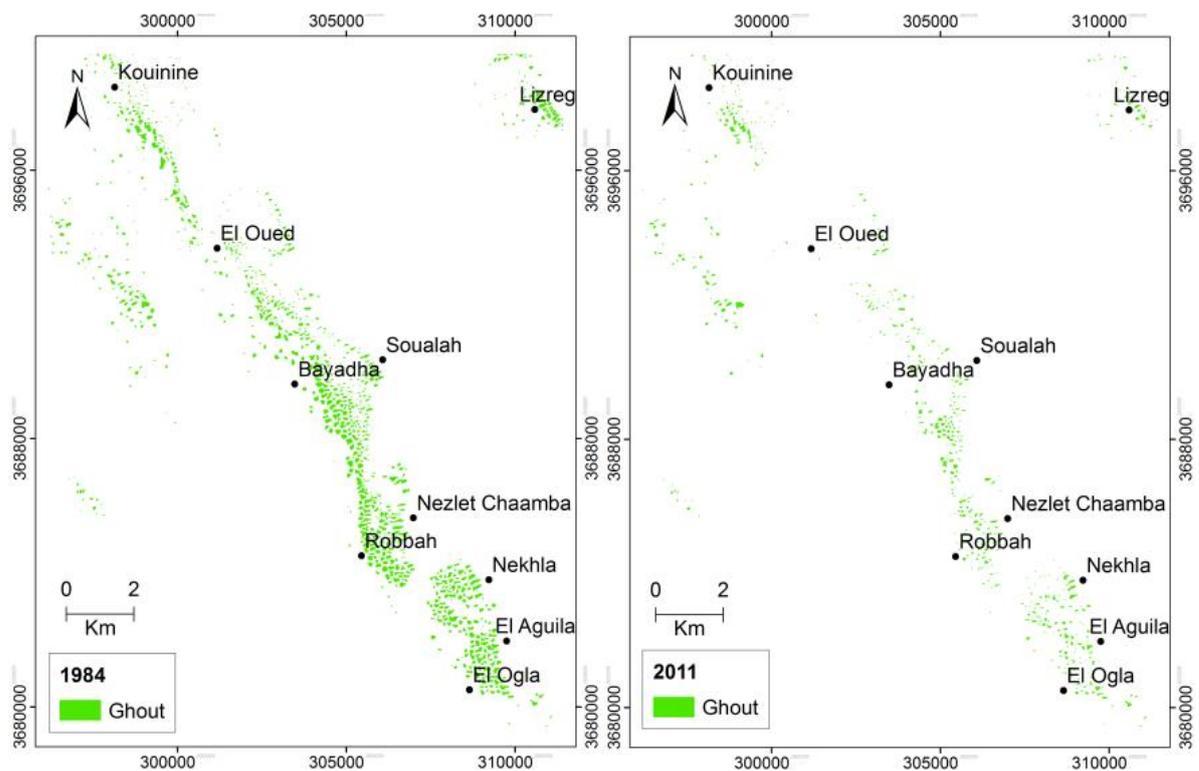


Figure 33: Cartes de Ghouts dans la région d'El Oued en 1984 et 2011, après application de masque (élimination de mise en valeur)



Figure 34: Nouvelles mises en valeur dans la région d'étude (CRSTRA, 2012).

4- Suivi de la dégradation des Ghouts par la méthode de masque spatiale

La masque spatial appliqué sur la carte de la végétation en 2011, a permis l'extraction des Ghouts pour chaque commune de la région étudiée (fig. 35), les Ghouts dégradés ou disparus sont représentés en couleur rouge, tandis que les Ghouts restants sont représentés en vert.

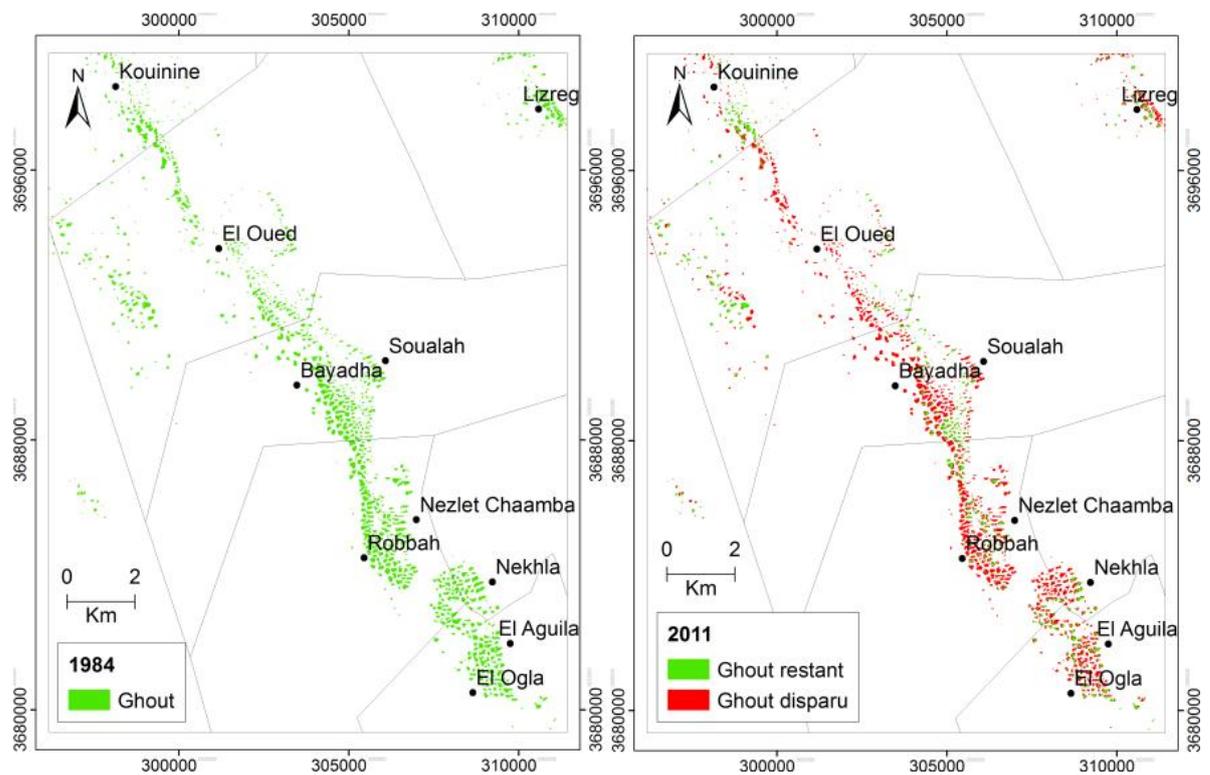


Figure 35: Suivi de l'état de Ghout dans la région d'El Oued par soustraction

Le tableau 16 suivant montre le changement de la superficie des Ghouts dans la région d'étude dans la période (1984-2011).

Tableau.16 : Comparaison des superficies de Ghout à El Oued entre 1984 et 2011.

Commune	Sup. Ghout en 1984 (ha)	Sup. Ghout en 2011 (ha)	Perte (ha)
Robbah	184,8	42,0	142,7
Bayadha	136,8	34,9	101,9
El Oued	133,1	39,7	93,4
El Oglá	92,5	29,2	63,4
Trifaoui	35,5	11,7	23,8
Nekhla	32,8	9,5	23,2
Kouinine	41,5	23,4	18,1
Oued El Alenda	5,8	2,5	3,2
Région d'étude	662,7	193,0	469,7

D'après le tableau 16, sur un total de 662,7 ha de superficie des Ghouts en 1984, 469.7 ha (70%) sont complètement dégradés ou disparus en 2011. Il est clairement constaté que les pertes en superficies occupées de Ghouts sont localisées au sud : 142.7 ha (77%) à Robbah, 101,9 ha (74%) à Bayadha, 93,4 ha (70%), à El Oued 63,4 (68%) à El Oglá et 23,2 (70%) à Nekhla.

La superficie qui n'est pas touché par le problème de la remonté de la nappe phréatique est 193 ha, ce phénomène est apparu aux portes immédiates de la ville d'El Oued, selon la direction de

l'environnement (2009), plus de 1000 Ghouts inondés sur un total de 9500. Ceci s'est traduit par une perte de plus de 150.000 palmiers dattiers, à cause de l'asphyxie. Puis le problème a grandi, au point de toucher la moitié sud de Souf, de Bayadha à El Ogla, la commune la plus touchée est celle de Robbah (77%) (tableau 16, fig.36).

Selon DSA, d'El Oued, 2011, sur un totale de 9.500 Ghout contenant 475.000 pieds, 2.916 ont été touchés par le problème de remontée de la nappe plongeant ainsi dans un état d'hydromorphie près de 146.000 pieds.

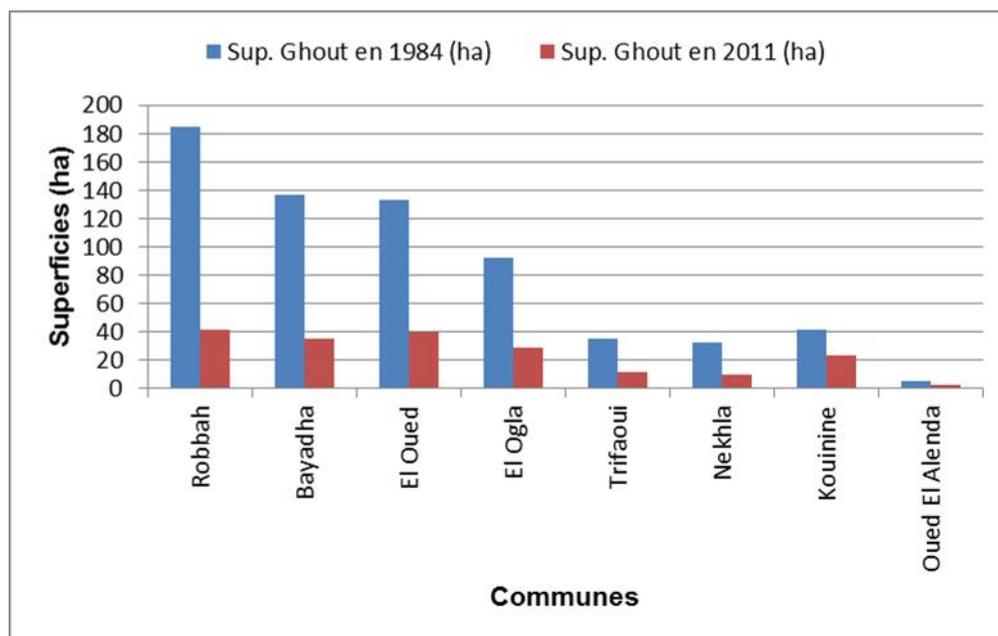


Figure 36: Diminution des superficies de Ghouts dans le sud d'El Oued entre 1984 et 2011.

La situation est plus spectaculaire dans notre zone d'étude (Sud du Souf). C'est là où se trouve les plus grands Ghouts profonds développés au milieu des hautes dunes (Cote, 1998). Cette disparition est traduite par remplacement du couleur vert dans la figure 36 en 1984 par le couleur rouge en 2011.

La régression de la superficie des Ghouts est due principalement à la remonté de la nappe phréatique à cause de :

- ✓ Le nouveau système agricole oasisien : Cette agriculture dite nouvelle est fondée essentiellement suite à la loi 18/83 de l'accession à la propriété foncière agricole. Cette loi touche les rapports entre l'homme et l'objet de travail qui est la terre. Au Souf cette loi se traduit par :

- Attribution de terres aux fellahs
- Une grande plantation des cultures maraîchères sous pivot (pomme de terre, fève, petit pois...etc.)

- ✓ Remini, 2006 voit que les causes de la disparition des Ghouts sont:
- L'agrandissement de la superficie des terres agricoles qui engendré une augmentation du débit de pompage de la nappe profonde,
 - L'absence d'un réseau d'assainissement collectif sur toute la région d'El Oued.

5- Suivi de la dégradation des Ghouts par la méthode de détection du changement

Pour mieux cerner l'étude de changement de la superficie des Ghouts, nous avons appliqué la méthode de détection de changement (*Anglais : Change detection*) sous ENVI 4.7. Il s'agit de calculer la simple différence arithmétique (soustraction) entre la carte de végétation en 1984 (état initial) et celle en 2011 (état final). Le résultat est une carte de changement de la végétation qui comporte trois types de changements : (1) changement positif (augmentation de la végétation), (2) changement négatif (régression) et (3) pas de changement.

D'après le tableau 17 et la figure 37, on note une diminution de la superficie des Ghouts (en couleur rouge) et une augmentation de celles des cultures irriguées (bleu) au cours de 28 ans.

Tableau 17: Superficie de végétation entre 1984-2011.

Commune	Sup.Cult. Irrig. (1984) en ha	Sup.Cult. Irrig. (2011) en ha	Augmentation ha
Robbah	0,0	335,8	335,8
El Oued	0,0	176,8	176,8
Bayadha	0,0	132,6	132,6
Trifaoui	0,0	98,7	98,7
Nekhla	0,0	77,1	77,1
Kouinine	0,0	49,5	49,5
Ogla	0,0	46,3	46,3
Oued El Alenda	0,0	11,3	11,3
Région d'étude	0,0	928,0	928,0

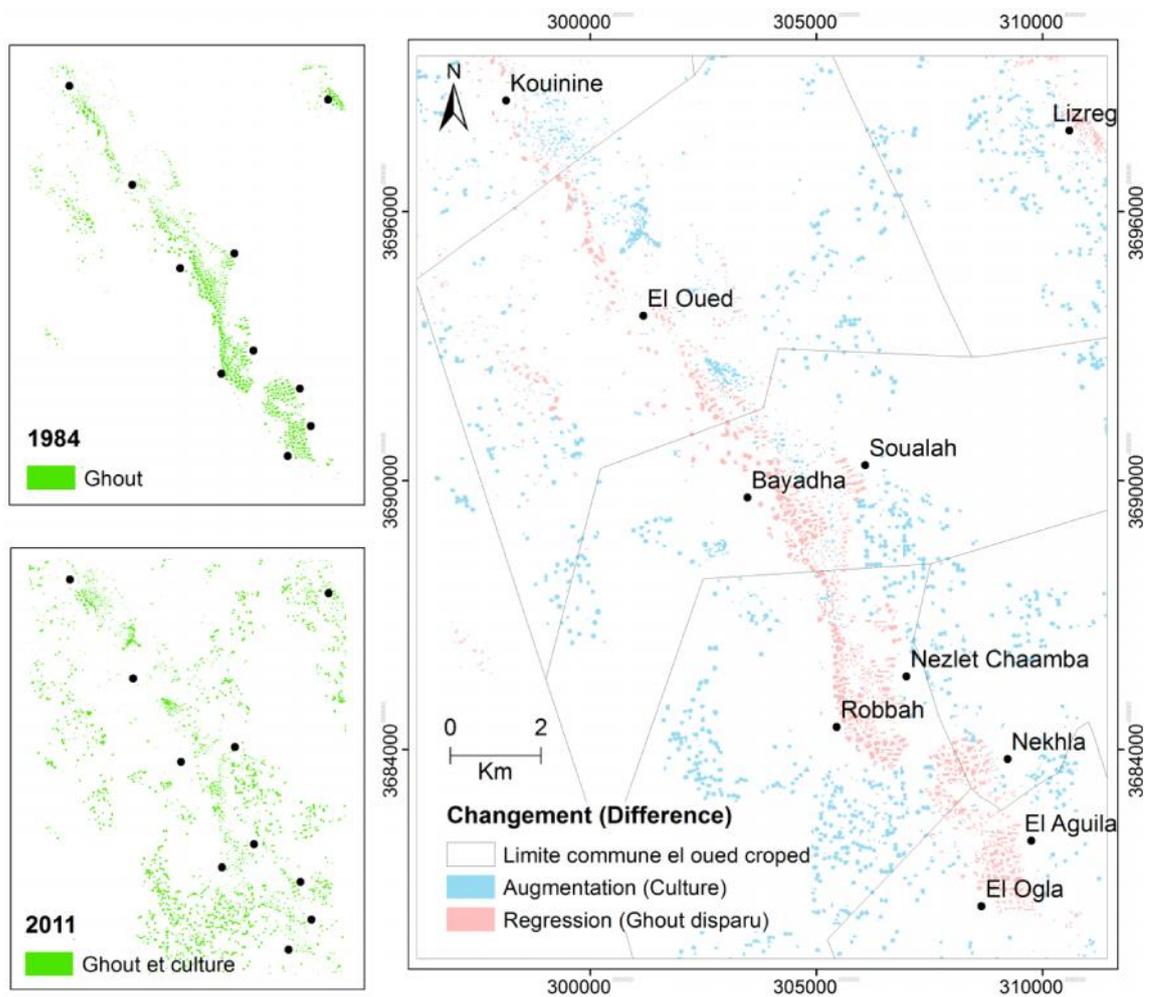


Figure 37: Suivi de l'état de Ghout dans la région d'El Oued par la méthode «détection de changement».

On remarque aussi qu'il y a une relation proportionnelle entre l'augmentation de la superficie des nouvelles cultures irriguées et la régression de la superficie des Ghouts, surtout dans la partie sud (Bayadha, Robbah, Nekhla et El Ogla) (tableau 18 et fig. 38), dont les zones des Ghouts les plus dégradés ou disparus sont celles où se trouve une activité importante des mises en valeurs.

Ceci est dû à l'intensité de l'irrigation de nouvelles cultures qui est parmi les causes principales de la remontée de la nappe phréatique dans la région du Souf.

Tableau 18: La relation entre la régression de la superficie des Ghouts et l'augmentation de celles des nouvelles cultures.

Commune	Perte de Ghouts (ha)	Superficie de culture (ha)
Robbah	142,7	335,8
Bayadha	101,9	132,6
El Oued	93,4	176,8
El Ogla	63,4	46,3
Trifaoui	23,8	78,7
Nekhla	23,2	77,1
Kouinine	18,1	49,5
Oued El Alenda	3,2	11,3
Région d'étude	469,7	928

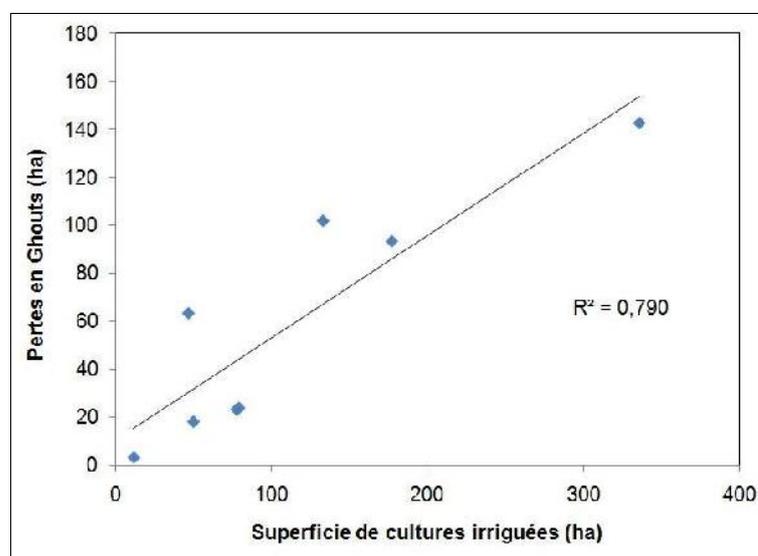


Figure 38: Courbe de corrélation linéaire entre la superficie de cultures irriguées et les pertes en superficies de Ghouts dans la région d'El Oued. Noter que la superficie de Ghouts disparus est positivement proportionnelle à la superficie de cultures irriguées.

6- Dégradation des Ghouts en relation avec la croissance urbaine

Au cours des trente dernières années, la région d'El Oued a été caractérisée par une extension urbaine, une croissance de la population, dont en 1987 elle est de 115.329 habitant tandis que en 2013 est de 249.775 habitant, la croissance est exceptionnelle à El Oued chef-lieu de wilaya, à Bayadha la population est croit de 20.063 en 1987 à 37.320 habitant en 2013 (tableau 19) et une croissance des terrains cultivés de zones industrielles; ces nouvelles utilisations ont contribué à alimenter d'avantage la nappe phréatique et aggraver la dégradation de Ghouts.

D'après le tableau 20, les figures 39, et 40 on remarque que la superficie de l'espace bâti est augmentée dans toute la région d'étude, cette augmentation est de l'ordre de 1034.9 ha à El Oued, 284,3 ha à Bayadha, 218,9 ha à Robbah et 81,2 ha à El Ogla.

Tableau 19: Croissance de la population dans la région d'El Oued entre 1987 et 2013 (DUCH d'El Oued, 2013).

Communes	Superficie km ²	Pop. 1987	Pop. 2013
El Oued	77	70.911	155.525
Bayadha	139	20.063	37.320
Robbah	499	11.676	25.290
Nakhla	700	5.717	14.950
Trifaoui	474	3.983	9.605
El Ogla	1.352	2.979	7.085
Région d'étude	3.241	115.329	249.775

Tableau 20: Augmentation de l'espace bâti entre 1984 et 2011.

Commune	Bâti (1984) en ha	Bâti (2011) en ha	Augmentation en ha
El Oued	578,0	1612,9	1034,9
Bayadha	176,9	461,2	284,3
Robbah	194,9	413,7	218,9
Ogla	53,7	134,9	81,2
Kouinine	111,2	184,0	72,8
Trifaoui	35,6	90,7	55,1
Nekhla	52,0	100,5	48,5
Oued El Alenda	0,0	0,0	0,0
Région d'étude	1202,2	2997,9	1795,7

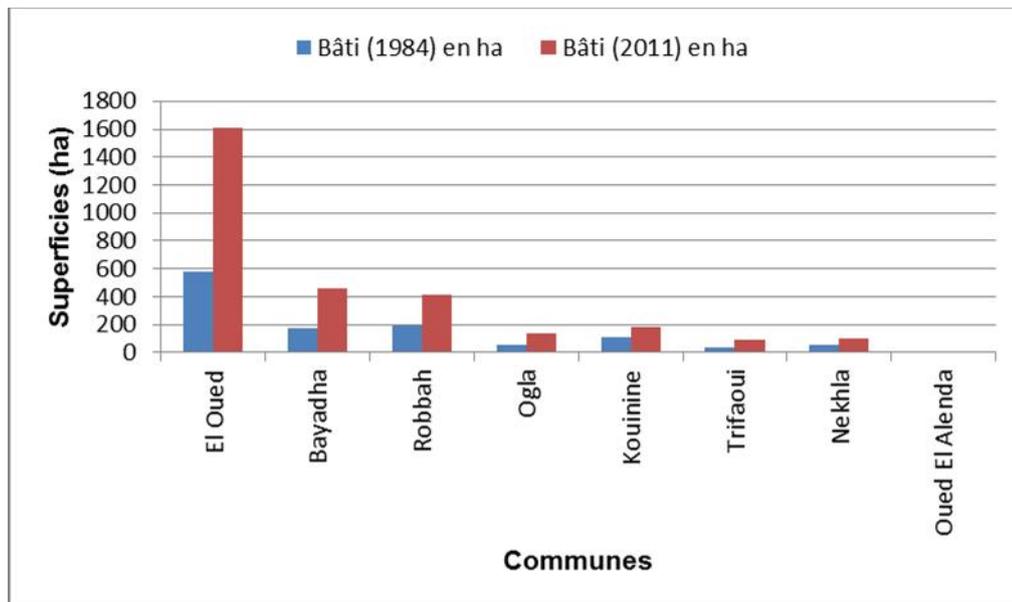


Figure 39: Evolution de l'espace bâti dans le sud d'El Oued entre 1984 et 2011.

La commune d'El Oued (chef-lieu de wilaya) est caractérisée par une croissance urbaine exceptionnelle : de 578 ha (1984) à 1612,9 ha (2011) soit une augmentation de 1034,9 ha, ceci est dû surtout à la croissance démographique qui exige la construction de nouveaux habitas, de constructions socioéconomiques et d'infrastructures. Le tissu urbain s'est propagé sur des terrains initialement occupés de Ghouts qui ont été souvent transformés en terrains de construction.

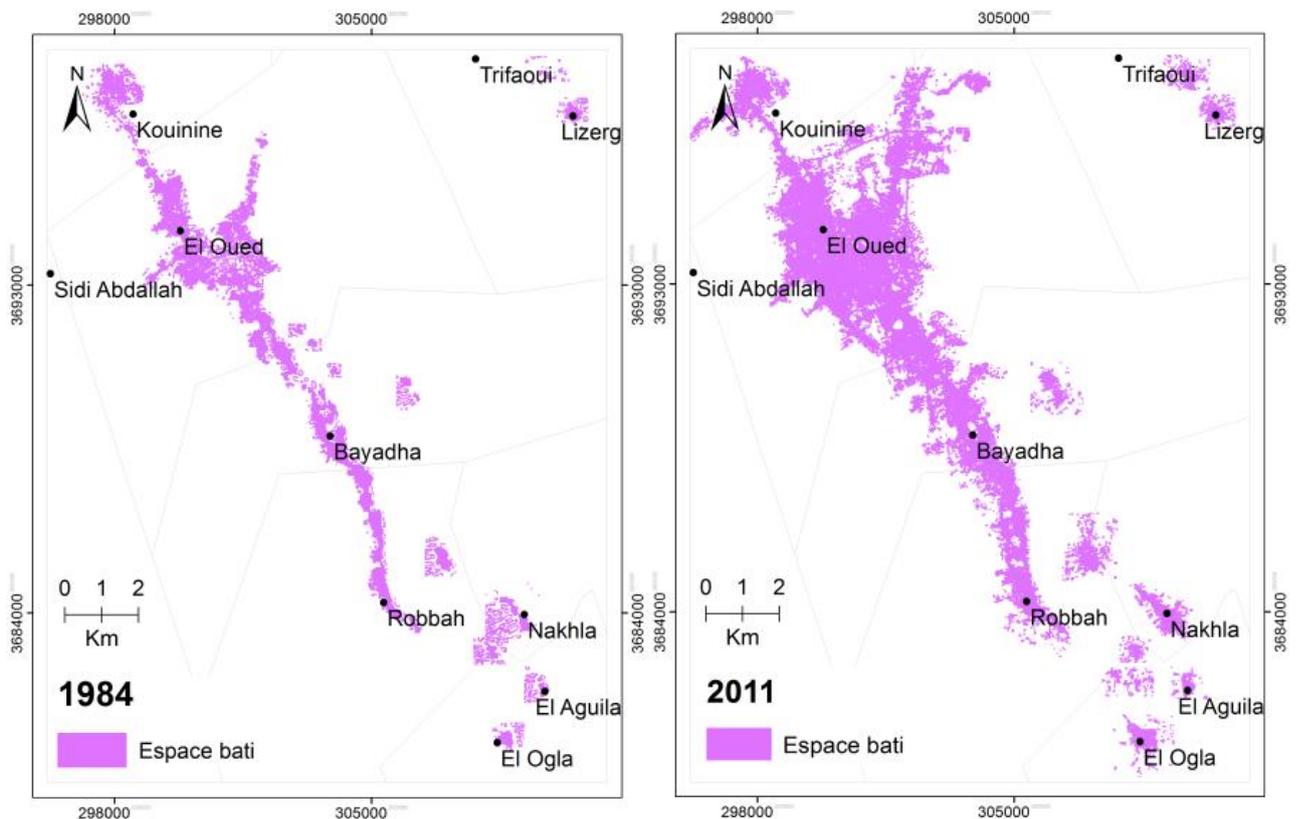


Figure 40: Évolution de l'espace bâti dans la région d'El Oued entre 1984 et 2011.

Conclusion de la partie III

Le traitement des images satellitaires de Landsat a permis le suivi bi-temporel des Ghouts durant 28 ans (1984 à 2011). Les résultats obtenus montrent que la superficie occupée de Ghouts a diminué de 662,7ha en 1984 à 193ha en 2011. En revanche, la superficie de cultures irriguées a augmenté de 0ha en 1984 à 928ha en 2011, similairement à l'espace bâti qui passe de 1202,2ha à 2997,9.ha. Les communes situées au sud (Robbah, Bayadha et El Ogl) ont plus étaient affectées par la dégradation de Ghouts, ceci est principalement due à l'intensité de la remonté de la nappe, qui peut aussi être justifié par l'augmentation des superficies destinées aux cultures irriguées et la croissance du tissu urbain.

Conclusion générale

L'étude du milieu naturel a montré que les Ghouts occupent les bas fonds de la région, et sont implantés sur des terrains de l'âge quaternaire qui - grâce à leurs perméabilité – permettent la formation d'une nappe phréatique proche de la surface, étant la principale source pour l'approvisionnement des Ghouts en eaux, surtout dans une telle région à climat hyperaride.

A partir des années 1980s, les Ghouts ont commencé à subir une sérieuse situation de dégradation. Touts les études antérieures ont montré que la remontée de la nappe phréatique est la cause principale de cette dégradation.

Cette recherche a été menée dans la région d'Oued Souf, dont l'objectif était de faire un suivi diachronique de l'état de Ghout ayant recours aux outils de la télédétection spatiale et de l'imagerie satellitaire de Landsat. La démarche expérimentée est basée sur le traitement des images de Landsat de 1984 et 2011, en adoptant deux (2) principales techniques : l'indice de végétation NDVI et la détection de changement spatiale. L'approche suivie a permis la détection de changement relatif à trois (3) éléments principaux du milieu dans la région d'étude : les Ghouts, les cultures irriguées et l'espace bâti durant une période de 28 ans.

Les résultats obtenus mettent en évidence une forte diminution des superficies de Ghouts, qui ont passé de 662.7 hectares en 1984 à 193 hectares en 2011. En revanche, les superficies occupées de mise en valeurs irriguées ont nettement évolué de 0 hectares en 1984 à 928 hectares en 2011, parallèlement avec l'espace bâti qui – à cause de la croissance démographique – a passé de 1202.2 hectares à 2997.9 hectares. L'étude a de même montré que les communes situées au sud (Robbah, Bayadha et El Ogla) ont été marquées par une importante dégradation voire une totale disparition de Ghouts, ceci est principalement due à l'intensité du phénomène de la remonté de la nappe, ainsi à l'augmentation des superficies destinées aux cultures irriguées et l'extension du tissu urbain.

Références bibliographiques

- Abdelbaki A., 2012.** Utilisation des SIG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant de Oued Bouguedfine (Wilaya de Chlef) Mémoire magister en biologie, Univ HASSIBA BEN BOUALI Chlef 2012. 95p.
- Achour A., 1995.** Diagnostic de l'état du patrimoine phoenicicole algérien et essai d'analyse du coût de production dattier. Cas de la palmeraie du Souf. Mémoire ing. Agro, INFS/AS Ouargla, 1995. 65p.
- ANRH., 1993.** Coupe lithologique du forage F1. Direction régionale d'Ouargla. Algérie.
- ANRH., 1998.** Carte piézométrique de la nappe phréatique du Souf.
- Bannari A., Morin D., Huete A.R., et Bonn F., 1995.** A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews, n°13, 95 -120.
- Big n°3.** Initiation à la télédétection. Bulletin de l'Information Géographique appliquée aux activités de Recherche-Développement.
- http://www.cnes.fr/automne_modules_files/standard/public/p7774_9f5e71f0025c698de2ef82085d1c0e20big_3.pdf
- Berrah., 2009.** Contribution à l'étude spatiale de la remontée de la nappe phréatique: problèmes posés et conséquences sur le système agricole " Ghout" à Oued Souf. Mémoire ing Agro, Ouargla, 2009. 83p.
- CCT., 2015.** Notions fondamentales de télédétection, 266p.
- Chedala., 2008.** Contribution à l'étude de l'impact de la remontée de la nappe phréatique à Oued Souf sur le changement floristique des Ghouts. Mémoire ing Eco, Ouargla. 164p.
- Cote M., 1998.** Des oasis malades de trop d'eau Sécheresse .Vol 9 n° 2, p 123 - 130.
- Cote., 2005.** La ville et le désert (le bas-Sahara Algérienne) Ed. Karthala et Iremam, 2005.306p.
- Cote M., 2006.** Si le Souf m'était conté. Ed. Média plus Constantine, 2006. 135p.
- CRSTRA., 2012.** Projet de recherche FNR portant sur les techniques de lutte contre l'ensablement dans le Bas Sahara Algérien.
- Direction de l'Environnement d'El-Oued., 2009.** Rapport de dégâts de la remontée des eaux et pollution de la nappe superficielle d'El-Oued. 19p.
- Dubief J., 1959.** Le climat du Sahara. Ed. Institut de Recherches Sahariennes, Alger. Mémoire hors-série. Tome I. 307p.
- Dubost., 2002.** Ecologie, aménagement et développement agricole des Oasis Algériennes. Ed. CRSTRA 2002. 423p.
- D.S.A., 1998.** La remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région d'oued Souf.

- Ducrot D., 2005.** Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources extraction de caractéristique du paysage, mémoire de recherches.
- Erdas Imagine User's Guide., 1999.** Méthode d'interprétation des images des satellites "analyse optique".14p.
- Francisco E G., Javier M R.et Ferran M A., 2013.** Manuel de télédétection spatial. 337p.
- Girard M. C., et Girard, C. M., 1989.** Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales. (2 ed.), Paris, Masson, 260 p.
- GIRARD & GIRARD., 1999.** Traitement des données de télédétection. DUNOD Ed. Paris.
- Gower, J.F.R., Borstadt. G.A., Gray, L.H.et Edel, H.R., 1988.** The Fluorescence Line Imager: High-Resolution Imaging Spectroscopy over Water and Land. Spectral Signature of Object sin Remote Sensing, 273-278p.France.
- Guyot G., 1984.** Caractérisation spectrale des couverts végétaux dans le visible et le proche infrarouge, application à la télédétection. Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n°95,pp 5-14.
- Kerbani B., 2013.** Etude de l'ensablement par image satellitaire Landsat à In Salah. Mémoire Master Géomorphologie appliqué, USTHB.85p.
- Khadraoui., 2000.** Les ressources en eau dans le Sahara septentrional congrès scientifique Arabe El Oued 2000. pp 20-28.
- Khadraoui., 2005.** Eaux et Sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement). Ed. EMPAC, Constantine, Algérie, 392p.
- Khechana S., Derradji F and Derouiche A 2010.**Integrated management of water resources in the valley of Oued Souf (Algeria): issues fitness for a new strategy.
- Khelef K., 2006.** Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique de Oued Souf, thèse master d'école de management EURO-MED, Univ de Marseille, 100p.
- Le Houerou., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique Diversité biologique, développement durable et désertisation CIHEAM/ACCT, Série B, N° 10.409p
- Lucien., 1947.** Le Souf (sud constantinois).36P.
- Moquet., A., 2003.** Apports de la télédétection pour la cartographie d'habitats terrestres en zones humides méditerranéennes, application aux habitats de la Réserve Nationale de Camargue. PFE d'Ingénieur Agronome. École Nationale Supérieure d'Agronomie et des IndustriesAlimentaires.Nancy.64p.
- O.N.M., 2015.** Office National Météorologique Station de Guemar.
- Remini., 2006.** La disparition des Ghouts dans la région d'el oued (Algérie).
- Riou C., 1990.** Bioclimatologie des oasis. CIHEAM/ACCT, Série A, N° 11.15p.
- Saibi., 2010.** Les ressources en eau de la vallée du Souf (Sahara Algérienne).

Senoussi., 2012. Le Ghout dans le Souf: l'agonie d'un système ingénieux. Revue de bio ressources Vol 2 N.

Université Virtuelle Environnement et Développement durable., 2008. ENVCAL- Suivi de l'environnement par télédétection, Cours en ligne.

Voisin., 2004. Le Souf Monographie .Ed. ELWALID. 319p.

Résumé

Le Ghout est un système oasien traditionnel à Oued Souf, classé par l'organisation des nations unies comme Système Ingénieux du Patrimoine Agricole Mondial «SIPAM». Cependant, ce patrimoine a connu une grave dégradation à partir des années 1980s issue de plusieurs facteurs de nature différente. L'objectif de cette recherche est l'étude et le suivi diachronique de la disparition des Ghouts ayant recours aux outils de la télédétection spatiale et l'imagerie satellitaire; l'analyse, l'interprétation et le traitement des images bi-temporelles de Landsat (1984 et 2011) ont permis la détection, la quantification et la cartographie de la disparition des Ghouts à Oued Souf durant 28 ans.

Les résultats obtenus montrent que la superficie des Ghouts a été diminuée de 662,7 ha en 1984 à 193 ha en 2011 soit 70% de perte, dont les communes les plus affectées sont Bayadha et Robbah avec 77 et 74 % de perte respectivement. Parallèlement, la superficie occupée par les nouvelles cultures irriguées a augmenté de 0 ha (1984) à 928 ha (2011), avec une augmentation exceptionnelle à Robbah, El Oued et Bayadha (335.8, 176.8 et 132.6 ha respectivement). De même, la superficie de l'espace bâti a connu une importante extension en passant de 1202 ha en 1984 à 2298 ha en 2011, avec un maximum d'augmentation dans la commune d'El Oued étant chef-lieu de la wilaya. Outre le problème de la remontée de la nappe phréatique, la dégradation des Ghouts est aussi due à l'évolution de la culture irriguée et l'extension continue de l'espace bâti.

Mots clé: Oued Souf, télédétection spatiale, image satellitaire, NDVI, détection de changement, dégradation de Ghout.

يعتبر الغوط نظاما واحاتيا خاصا بمنطقة وادي سوف مصنفا

عرف الغوط تدهورا واندثارا ملحوظا ابتداء من الثمانينات بسبب عدة عوامل. يهدف هذا البحث إلى دراسة وتتبع حالة وديناميكية الغوط باستعمال تقنيات الاستشعار عن بعد و المرئيات الفضائية لسنتي 1984 2011 (28 سنة). حيث أن معالجة وتحليل وتفسير هذه المرئيات مكنت من إبراز و تقييم تدهور الغوط بالإضافة إلى إنجاز خرائط موضوعية و تسلسلية لديناميكية الغوط, الزراعات المسقية و النسيج الحضري.

بالاعتماد على تقنيتي مؤشر الغطاء النباتي و مراقبة التغير المجالي, فقد تبين
1984 193 هكتار 2011, ما يمثل (70 % غوط مندثر), تعتبر البياضة والرياح اكثر البلديات تضررا (77 %74). من جهة أخرى, فقد ارتفعت مساحة الزراعات المسقية من 0 هكتار (1984) 928 هكتار (2011), وذلك بزيادة قدرها 335.8 , 176.8 132.6 هكتار في كل من الرياح, الوادي و البيا
النسيج زيادة معتبرة: 1202 هكتار 1984 2298 هكتار 2011 بلدية
الولاية. زيادة على مشكل صعود المياه الجوفية, تعتبر زيادة مساحة الزراعات المسقية و النسيج من أهم الأسباب المساهمة تدهور الغوط واندثاره.
المفتاحية: المرئيات الفضائية, مؤشر الغطاء النباتي, مراقبة التغير المجالي, تدهور الغوط.