

Université kasdi Merbah – Ouargla



Faculté des Sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers
Département des sciences de la terre et de l'univers

MEMOIRE

Présentée pour obtenir le Diplôme de

MAGISTER

Option : Géochimie de surface

Par

LAOUINI Hamza

THEME

**CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DES ZONES
HUMIDES ENTRE DEUX CLIMATS, MEDETERANEEN ET
ARIDE PAR IMAGE SATELLITAIRE : CAS DES LACS D'EL-
TAREF ET LES CHOTT ET SEBKHAS DE OUARGLA**

Soutenue publiquement devant la commission d'examen

Jury :

Président :	Dr HACINI Messaoud	Maître de conférences A	Université d'Ouargla
Examineurs :	Dr HAMDI-AISSA Baelhadj	Professeur	Université d'Ouargla
	Dr AISSANI Belkacem	Maître de conférences A	Université d'Ouargla
Rapporteur :	Dr DJIDEL Mohamed	Maître de conférences A	Université d'Ouargla

2011/2012

Résumé

Les zones humides dans la région d'Ouargla (sud-est algérien) présentent des affleurements dans les dépressions sous forme d'Oasis, chotts et Sebkhass (zones humides salées). Leur présence est importante dans les régions arides par la création d'un microclimat favorisant la préservation d'un écosystème oasien. La salinité élevée dans ces zones influe directement sur le biotope et entrave l'existence des oasis. Dans la région d'El-Kala (nord-est algérien) présentent des lacs (zones humides à eau douce et salée) caractérisés par leurs biodiversités floristiques et faunistiques. Ces zones humides sont soumises à une pression anthropique forte et croissante pouvant conduire à une dégradation importante.

L'objectif de ce travail est d'aider à la mise à jour des cartes des zones humides salées qui sont caractérisées par une activité géochimique dans un climat aride désertique (cas de la cuvette d'Ouargla) et dans un climat méditerranéen (région d'El-Kala). L'analyse visuelle des compositions colorées de l'image satellitaire ETM+ de Landsat, a permis d'identifier les différentes formes des zones humides salées dans le milieu désertique de la wilaya d'Ouargla sud-est algérien et des zones humides dans le milieu méditerranéen de la région de El-Kala nord-est algérien. Les traitements numériques (classifications non supervisées et supervisées des images satellitaires) ont permis d'obtenir la cartographie des principales unités des oasis, des lacs, des eaux de surface salées et les sols humides ainsi que les sols salés dans la cuvette d'Ouargla. Cette cartographie détermine une affinité entre les types d'eau et les sels. Le second objectif est de déterminer la qualité des eaux de ces zones humides par des analyses physico-chimiques.

Mots-clés: *Téledétection, cartographie, classification, hydrochimie, sebkha, lacs, sols humides, sols salés.*

Geochemical characterization of wetlands between the Mediterranean and deserted climate by satellite images: Case of Taref lakes, Chott and Sebkhass of Ouargla.

Abstract

The wetlands in the region of Ouargla (algerian south-eastern) that have outcrops in depressions in the form of Oasis, Chott and Sebkhass (saline wetlands). The presence of these wetlands is important in arid regions by creating a microclimate favoring the preservation of an oasis ecosystem. High salinity in these areas directly affects the biotope and impedes the existence of the oasis. The region of El-Kala (Algerian north-eastern) characterized by their biodiversity flora and fauna. These wetlands are subject to a strong anthropogenic pressure can lead to an important degradation.

The aim of this work is to update maps of saline wetlands that are characterized by a geochemical activity in a desertic climate (case of the Ouargla basin) and in a Mediterranean climate. Visual analysis of color composites of ETM + Landsat satellite image identified the various forms of salty wetlands in the desert zone of Ouargla, south-eastern Algeria and the wetlands in the Mediterranean zone of El-Kala north-eastern Algeria. The numerical treatment (unsupervised and supervised classification of satellite images) have allowed the mapping of the main units of the oases, lakes, salty surface water, moist soils and saline soils in the basin of Ouargla. This mapping determines an affinity between the types of water and salts. The second aim of this work is to identify the water quality of wetlands with physicochemistry analyses.

Key-words: *Remote sensing, cartography, classification, hydrogeochemistry, sebkha, lakes, moist soil, salty soils.*

الخصائص الجيوكيميائية للمناطق الرطبة بين مناخ البحر الأبيض المتوسط والمناخ الجاف باستخدام صور القمر الصناعي : حالة بحيرات الطارف وشطوط و سبخات ورقلة

المناطق الرطبة في ناحية ورقلة (الجنوب الشرقي الجزائري) تمثل المسطحات المائية في المنخفضات تحت شكل واحات، شطوط وسبخات (المناطق الرطبة المالحة). فوجودها ضروري في المناطق الجافة والقاحلة و هذا من خلال خلق مناخ ملائم للحفاظ على النظام البيئي في الواحة. إن ارتفاع نسبة الملوحة في هذه المناطق يؤثر بشكل مباشر على الكائنات الحية و يعيق تواجد الواحات. أما في منطقة القالة (الشمال الشرقي الجزائري) توجد البحيرات (المناطق الرطبة والمياه العذبة) والتي تتميز بتنوعها البيولوجي النباتي و الحيواني. هذه المناطق الرطبة تخضع لزيادة مفرطة من الضغط البشري الذي يمكن أن يؤدي الى تدهور بيئي كبير.

الهدف من هذا العمل هو المساعدة في تحديث الخرائط للمناطق الرطبة المالحة و العذبة والتي تتميز بالنشاط الجيوكيميائي في مناخ جاف (حوض ورقلة) وفي مناخ البحر الأبيض المتوسط (منطقة القالة). التحليل البصري للمركبات اللونية لصورة القمر الصناعي *ETM+ Landsat* ، والتي تسمح بالتعرف على مختلف أشكال المناطق الرطبة المالحة في وسط جاف بولاية ورقلة جنوب شرق الجزائر والمناطق الرطبة العذبة في بيئة البحر الأبيض المتوسط بمنطقة القالة شمال شرق الجزائري. المعالجة الرقمية (التصنيف الغير مراقب والمراقب لصور الاقمار الصناعية) تسمح بالحصول على خرائط الوحدات الرئيسية من واحات، بحيرات، مياه سطحية مالحة أو عذبة وأتربة رطبة وكذلك أتربة مالحة في حوض ورقلة. هذه الخرائط تحدد تقارب معتبر بين أنواع المياه والأملاح، و كذا تحديد نوعية هذه المياه بالمناطق الرطبة بتحليل فيزيوكيميائية .

مفاتيح الكلمات : الإستشعار عن بعد ، الخرائط ، التصنيف ، هيدرجيوكيمياء ، بحيرات ، التربة الرطبة ، التربة المالحة .

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, mon père et surtout à ma mère je tiens à exprimer ma
profonde gratitude et tous mes respects pour toute son aide, son affection et son
sacrifice.*

A mes frères : Saleh eddine, Reda et Oussama.

A ma sœurs : Ahlam.

*A mes amis Aziz, Mennad, Ali, Rabeh, Bilal, Rezki et Okba et qui m'ont
toujours encouragé pour terminer mes études.*

A toute ma famille et tous mes amis.

A tous ceux qu'un jour profiteront de ce travail.



Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier toutes personnes, qui de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation, en particulier :

Monsieur le Docteur Djidel Mohamed qui m'a encadré et suivi tout au long de mon travail, pour ces critiques et ses appuis pour rendre meilleur ce travail, je ne saurai lui exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à leur juste valeur.

Je tiens à remercier tout les membres de Jury : Mr. Hacini Messaoud d'avoir accepté de présider le jury, Mr HAMDI-AISSA Baelhadjet Mr. AISSANI Belkacem pour la lecture et l'examen de ce travail.

Mes vifs remerciements à tous les enseignants du département de géologie de l'université Kasdi Merbah (Ouargla), et tout particulièrement à Mr Medjani fethi.

Mes chaleureux remerciements s'adressent à M^{lle} FIFATI, BEGUIRET et Mr. BELEKSIR pour leurs aides précieuses.

Résumé	
Abstract	
الملخص	
Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction Générale.....	1
PARTIE I : CONTEXTE GENERAL	
CHAPITRE I : APERCUE GEOGRAPHIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE	
1- Caractéristiques Physiques.....	3
1-1- Situation Géographique (Ouargla)
1-1.1-Présentation des sites d'études (Chotts d'Ain Beida et Oum Er Raneb).....	4
a- Chott Ain Beida.....	4
b - Chott Oum Raneb.....	5
1-2- Situation géographique (El kala).....	5
1-2.1-Présentation des sites d'études (Lacs d'Oubeïra, Tonga et Mellah).....	6
a- Le Lac Oubeïra	6
b- Le lac Tonga.....	7
c- Le lac Mellah	8
2- Le Cadre Socio-Economique.....	9
2-1- Région de Ouargla.....
2-1.1-La situation sociale.....	9
a- Evolution de la population.....
b- La santé.....	9
c- Le logement.....	9
2-1.2-La situation économique	10
a- Le taux d'activité.....	10
b- Les grands secteurs d'activité.....	10
c- L'activité agricole.....	10
2-2- Région de Taref.....	10
2-2.1-La situation sociale.....
a- Evolution de la population.....	10
b- La santé.....	11
2-2.2-La situation économique.....	12
a-Agriculture.....	12
b-Pêche	13
c- Industrie	13

d- Mines et carrières.....	13
e- Le taux d'activité.....	14

CHAPITRE II :CADRE PHYSIQUE

I. LA GÉOLOGIE.....	15
I.1- Région d'Ouargla.....	15
I.1.1-Le contexte géologique régional	
I.1.2-Géologie locale de la région d'Ouargla.....	17
I.1.3-Litho-stratigraphie.....	18
I.1.3-1 Aptien	18
I.1.3-2 Albien.....	18
I.1.3-3 Vraconien.....	18
I.1.3-4 Cénomanién.....	18
I.1.3-5 Turonien	
I.1.3-6 Sénonien lagunaire.....	19
I.1.3-7 Sénonien et Eocène.....	
I.1.3-8 Mio-Pliocène	19
I.1.3-9 Quaternaire	
1.4. Aperçu Tectonique.....	
I.2- Région de Taref.....	22
I.2. 1- Aperçu Géologique.....	22
I.2.1.1- Caractéristiques stratigraphiques de la région d'El Kala	22
I.2.1.1.1- Le secondaire.....	22
I.2.1.1.2. Tertiaire.....	22
I.2.1.1.3. Le Quaternaire.....	23
I.2.2. Aperçu Tectonique.....	
I.2.2.1 INTERPRETATION DES COUPES GEOLOGIQUES.....	25
I.2.2.1.1- Coupe Géologique dans la Plaine d'El Taref.....	
I.2.2.1.2- Coupe Géologique dans la Plaine de Bouteldja.....	
I.2.2.1.3- Coupe Géologique dans la Plaine d'Oum Teboul.....	26
II. LA GÉOMORPHOLOGIE.....	
II.1. Région d'Ouargla.....	27
II.1.1- Hamada du Mio-Pliocène	27
II.1.2- Glacis	27
II.1.3-Sebkhas et chotts	27
II.2. Région de Taref.....	
II.2.1. Le Relief.....	28
II.2.1.1. Le cordon dunaire littoral.....	
II.2.1.2. Les plaines sub-littorales	
II.2.1.3. Les montagnes telliennes	29
III. CONCLUSION	30

CHAPITRE III :RESSOURCES EN EAU

I. HYDROCLIMATOLOGIE.....	31
I.1- La région d'Ouargla.....	
I.1.1- LES FACTEURS CLIMATIQUES.....	32
I.1.1.1-La température	32
I.1.1.2- L'humidité de l'air	
I.1.1.3- L'insolation.....	33
I.1.1.4- Le vent.....	
I.1.1.5- La pluviométrie	
I.1.1.5. 1– La pluviométrie moyenne annuelle.....	
I.1.1.5.2– La pluviométrie mensuelle	35
I.1.1.6- l'évaporation.....	36
I.1.2-INDICE D'ARIDITE DE DEMARTONNE.....	36
I.1.3- DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE DE GAUSSEN	37
I.1.4-LE BILAN D'EAU.....	37
I.1.4.1- Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle.....	37
I.1.4.2- Bilan de Thorntwaite.....	39
I.2 - La région d'ElKala.....	40
I.2.1- LES FACTEURS CLIMATIQUES.....	40
I.2.1.1. Les températures.....	40
I.2.1.2 -L'humidité.....	
I.2.1.3 - Le vent.....	41
I.2.1.4- Les précipitations.....	
I.2.1.4.1- Les précipitations moyennes mensuelles.....	
I.2.2-L'INDICE DE DE MARTONE	42
I.2.3 -DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE DE GAUSSEN.....	43
I.2.4-LE BILAN D'EAU.....	43
I.2.4.1- Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle.....	43
I.2.4.2-Bilan Hydrique par la méthode de Thorntwaite.....	
I.2.4.3-Le Ruissellement (R).....	
I.2.4.4- L'infiltration efficace (Ic).....	45
II. HYDROLOGIE DE SURFACE.....	46
II.1- La région d'Ouargla.....	46
II.1.1- Les surfaces d'eau.....	46
II.1.2- Le réseau hydrographique.....	46
II.1.2.1- Oued Mya	46
II.1.2.2- Oued N'sa et M'zab.....	47
II.2- Région d'El-Kala.....	47
II.2.1- Les surfaces d'eau.....	47
II.2.2- Le réseau hydrographique.....	48
III. HYDROGEOLOGIE.....	49
III.1- La région d'Ouargla.....	49
III.2- La région d'El Kala.....	50
IV. CONCLUSIONS.....	50

PARTIE III : MATERIELS ET METHODES ET SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE IV : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1 - Définition et historique.....	52
2 - Principe de base.....	53
3- Le rayonnement électromagnétique.....	54
4 - Le spectre électromagnétique	55
5- Les comportements spectraux	56
6- Domaines d'application de télédétection	57
6-1- Géologie	
6-2- Hydrogéologie et hydrologie.....	58
6-3- Cartographie.....	58
7- La télédétection multi spectrale (Le Programme LANDSAT).....	59
8- Spécifications du satellite Landsat ETM+	60
9- Choix des données	

Chapitre V: MATERIELS ET METHODES

1- Partie Télédétection	62
1-1 Les données satellitaires (LANDSAT ETM+)	
1-2 Logiciel utilisé (ENVI 4.5)	
1-3 Méthodes.....	62
1-3-1 Analyse visuelle de l'image ETM+ de Landsat (composition colorée).....	
1-3-2 Les classifications d'image multi spectrale.....	63
2- Partie chimie.....	64
2-1 Prélèvement des échantillons.....	64
2-1-1 Echantillons de l'eau.....	64
2-1-2 Echantillons solides	65
2-2 Méthodes d'analyses des eaux.....	66
2-2-1 Les analyses sur terrain	66
2-2-1-1 La conductivité	66
2-2-1-2 Le pH et T°.....	66
2-2-2 Analyse au laboratoire	66
2-2-3 Méthodes de traitement des résultats	67

Partie III : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE VI : TRAITEMENTS D'IMAGES ET CLASSIFICATIONS

1- Signatures spectrales	68
2- Interprétation de la composition colorée des images Landsat ETM+.....	69
2-1 la région d'Ouargla.....	69
2-2 La région d'El-Kalam.....	73
3 - Interprétation de la classification non supervisée.....	76
3-1 La région d'Ouargla.....	76
3-1-1 La classification par Iso Data à partir des néo-canaux.....	77
a- L'indice de végétation (NDVI)	77
b- L'indice de brillance (IB).....	79
3-1-2 Interprétation de la classification non supervisée par les néo-canaux.....	81

3-2 La région d'El-Kala.....	82
4- Interprétation de la classification supervisée (Maximum Likelihood).....	83
4-1 Classification supervisée du sebkhet Oum Raneb.....	86
4-2 Classification supervisée de Chott Ain Beida	88
5- CONCLUSIONS.....	90
CHAPITRE VII : ETUDE HYDROGEOCHIMIQUE	
1- Région d'Ouargla.....	91
1.1- Température des eaux.....	91
1.2- Conductivité et Salinité.....	91
1.3- Potentiel d'hydrogène (pH).....	92
1.4- Les éléments majeurs.....	92
1.4.1- Chlorures (Cl ⁻)	92
1.4.2- Sulfate (SO ₄ ⁻⁻).....	93
1.4.3- Bicarbonate (HCO ₃ ⁻).....	93
1.4.4- Sodium (Na ⁺).....	94
1.4.5- Calcium (Ca ⁺⁺).....	94
1.4.6- Magnésium (Mg ⁺⁺).....	95
1.4.7- Potassium (K ⁺).....	95
1-5 Détermination des faciès chimique (diagramme de Piper).....	95
1-6 Indice de saturation (IS) des eaux de chott Ain Beida et sebkhat Oum Raneb	96
1-7 Analyse des sels par diffractomètre de rayons X.....	97
2- Région d'ElKala.....	98
2.1- La température	98
2.2- La conductivité.....	99
2.3- Le Ph.....	99
2.4- La salinité.....	100
2.5- Les éléments majeurs	100
2-5-1 Chlorures (Cl ⁻)	100
2-5-2 Sulfate (SO ₄ ⁻⁻).....	100
2-5-3 Bicarbonate (HCO ₃ ⁻).....	101
2-5-4 Sodium (Na ⁺).....	101
2-5-5 Calcium (Ca ⁺⁺).....	102
2-5-6 Magnésium (Mg ⁺⁺)	102
2-5-7 Potassium (K ⁺).....	102
2-6 Indice de saturation (IS) des eaux de lac Oubeïra, Tonga.....	103
2-7 Diagramme de Schoeller-Berkaloff	103
3- Conclusion	104
CONCLUSION GENERALE.....	106
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

List des figures

Fig.I.01 :	<i>Situation géographique de la région d'Ouargla.....</i>	03
Fig.I.02 :	<i>Localisation de la zone d'étude (la ville d'Ouargla et ses alentours).....</i>	04
Fig.I.03 :	<i>Chott Ain Beida.....</i>	04
Fig.I.04 :	<i>Sebkha d'Oum Raneb.....</i>	05
Fig.I.05 :	<i>Situation et limites géographiques de l'aire du Parc National d'El Kala.....</i>	06
Fig.I.06 :	<i>Lac Oubeïra.....</i>	07
Fig.I.07 :	<i>Lac Tonga.....</i>	07
Fig.I.08 :	<i>Lac Mellah</i>	08
Fig.I.09 :	<i>Réseau urbain.....</i>	12
Fig.I.10 :	<i>Répartition de la superficie agricole totale entre les différentes cultures.....</i>	13
Fig.I.11 :	<i>Les affleurements géologiques du Sahara, et les domaines géologiques de l'Algérie....</i>	15
Fig.I.12 :	<i>Le découpage de l'espace saharien (Brule et al, 2003)</i>	16
Fig.I.13 :	<i>Coupe géostructurale transversale régionale (WEC, 2007).....</i>	17
Fig.I.14 :	<i>Relief géologique de la région d'Ouargla Superposition de la carte géologique de G. Busson au MNT.....</i>	17
Fig.I.15 :	<i>Coupes géologiques de la cuvette d'Ouargla.....</i>	21
Fig.I.16 :	<i>Coupe stratigraphique Est-Ouest à travers les bassins d'Oued Mya et de Ghadames ...</i>	21
Fig.I.17 :	<i>Extrait de la carte géologique régionale de J.M.Vila(1980).....</i>	24
Fig.I.18 :	<i>Coupe géologique à travers la plaine d'El Taref.....</i>	25
Fig.I.19 :	<i>Coupe géologique à travers la plaine de Bouteldja.....</i>	26
Fig.I.20 :	<i>Coupe géologique à travers la plaine d'Oum Teboul.....</i>	26
Fig.I.21 :	<i>Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d'Ouargla.....</i>	27
Fig.I.22 :	<i>carte des pentes de la région d'El-Kala.....</i>	29
Fig.I.23 :	<i>Esquisse morphologique du secteur El Kala-Annaba.....</i>	30
Fig.I.24 :	<i>Moyenne des températures exprimée en degrés Celsius (Station d'Ouargla, 1978-2009).....</i>	32
Fig.I.25 :	<i>Variation des Humidités moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1990-2009)....</i>	33
Fig.I.26 :	<i>Variation d'insolations moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1990-2009).....</i>	33
Fig.I.27 :	<i>Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (Station d'Ouargla, 1990-2009) ..</i>	34
Fig.I.28 :	<i>Carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara algérien Cahiers de Sécheresse</i>	35
Fig.I.29 :	<i>Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1978-2009).....</i>	35
Fig.I.30 :	<i>Variation d'évaporations moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1990-2009)....</i>	36
Fig.I.31 :	<i>Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN (Ouargla, période de 1978-2009).....</i>	37

Fig.I.32 :	<i>Variation des températures moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005) ..</i>	40
Fig.I.33 :	<i>Variation des Humidités moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)...</i>	41
Fig.I.34 :	<i>Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (Station de Bouteldja, 1980-2005)</i>	41
Fig.I.35 :	<i>Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)</i>	42
Fig.I.36 :	<i>Diagramme pluviothermique de GAUSSEN (Station de Bouteldja, 1980-2005).....</i>	43
Fig.I.37 :	<i>Bilan hydrique (Thorntwaite) dans la station de Bouteldja 1980- 2005.....</i>	46
Fig.I.38 :	<i>Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais, 2010).....</i>	47
Fig.I.39 :	<i>Réseau Hydrographique du Parc National D'El Kalam.....</i>	49
Fig.II.01:	<i>Les étapes de la télédétection (d'après TONON M, 2009).....</i>	54
Fig.II.02 :	<i>Représentation des ondes électromagnétique et la relation entre la fréquence et la longueur d'onde.....</i>	55
Fig.II.03 :	<i>Le spectre électromagnétique.....</i>	55
Fig.II.04 :	<i>Représentation du spectre électromagnétique, domaine des hyperfréquences.....</i>	56
Fig.II.05 :	<i>Réflectances comparées d'un sol nu, d'une végétation verte et d'eaux.....</i>	57
Fig.II.06 :	<i>Résolution spectrale du satellite Landsat 7.....</i>	61
Fig.II.07 :	<i>Résolution spatiale des images satellitaires et échelles de restitutions.....</i>	61
Fig.II.08 :	<i>Carte d'inventaire des échantillons d'eau et de sel dans la région d'Ouargla.....</i>	65
Fig.II.09 :	<i>Carte d'inventaire des échantillons d'eau dans la région d'El Kala.....</i>	65
Fig. III.01 :	<i>Courbes de réflectance spectrale (région d'Ouargla).....</i>	68
Fig.III.02:	<i>Courbes de réflectance spectrale (région d'El-Kala).....</i>	69
Fig.III.03:	<i>Composition colorée à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE de l'image ETM+ de Landsat du 20/12/2000 (région d'Ouargla).....</i>	70
Fig.III.04:	<i>Eau (sebkhet Oum Raneb).....</i>	71
Fig.III.05:	<i>Palmeraie (Chott Ain Beida).....</i>	71
Fig.III.06:	<i>Sol humide (sebkhet sefioune).....</i>	72
Fig.III.07:	<i>Grés rouge (Sidi Sol salé humide (Chott Ain Beida).....</i>	72
Fig.III.08:	<i>Sol salé sec (sebkhet Oum Raneb).....</i>	72
Fig.III.09:	<i>Grés rouge (Sidi Khouiled).....</i>	73
Fig.III.10:	<i>Sable (sebkhet Oum Raneb).....</i>	73
Fig.III.11:	<i>Composition colorée à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE de l'image ETM+ de Landsat du 03/05/2000 (région d'El Kala).....</i>	74
Fig.III.12:	<i>Eau (Lac Mellah).....</i>	74
Fig.III.13:	<i>Végétation (Lac Tonga).....</i>	75
Fig.III.14:	<i>Sol humide (Lac Tonga).....</i>	75
Fig.III.15:	<i>Sol argileux (Lac Tonga).....</i>	75
Fig.III.16:	<i>Sable (lac Oubeïra).....</i>	76

Fig.III.17:	<i>Grés Numidiens (Lac Mellah).....</i>	76
Fig.III.18:	<i>Carte de classification non supervisée (région d'Ouargla).....</i>	77
Fig.III.19:	<i>Image de l'indice NDVI (région d'Ouargla).....</i>	78
Fig.III.20:	<i>Image de l'indice NDVI (région d'El-Kala).....</i>	79
Fig.III.21:	<i>Image de l'indice de brillance IB (région d'Ouargla).....</i>	80
Fig.III.22:	<i>Image de l'indice de brillance IB (région d'El-Kala).....</i>	80
Fig.III.23:	<i>Carte de classification IsoData à partir des néo-canaux (NDVI, IB et ACP).....</i>	81
Fig.III.24:	<i>Carte de classification non supervisée (région d'El Kala).....</i>	82
Fig.III.25:	<i>Carte bathymétrie du lac El-Mellah.....</i>	82
Fig.III.26:	<i>Carte bathymétrie du lac Oubeïra.....</i>	83
Fig.III.27:	<i>Carte de classification supervisée de la région d'Ouargla (Maximum Likelihood)..</i>	86
Fig.III.28:	<i>Carte de classification supervisée de sebkhet Oum Raneb.....</i>	87
Fig.III.29:	<i>Courbes de réflectance spectrale (chott AinBeida).....</i>	88
Fig.III.30:	<i>Carte de classification supervisée du chott Ain Beida.....</i>	88
Fig.III.31:	<i>Courbes de réflectance spectrale (chott AinBeida).....</i>	89
Fig.III.32:	<i>Variation de la conductivité électrique dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	91
Fig.III.33:	<i>Variation du pH dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	92
Fig.III.34:	<i>Variation du Chlorure dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	92
Fig.III.35:	<i>Variation de SO_4^- dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	93
Fig.III.36:	<i>Variation de HCO_3^- dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	93
Fig.III.37:	<i>Variation de Na^+ dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	94
Fig.III.38:	<i>Variation de Ca^{++} dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	94
Fig.III.39:	<i>Variation de Mg^{++} dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	95
Fig.III.40:	<i>Variation de K^+ dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	95
Fig.III.41:	<i>Diagramme de Piper du chott Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	96
Fig.III.41:	<i>Variation de IS dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.....</i>	97
Fig.III.42:	<i>Le spectre de l'échantillon n°1 de l'halite dans le chott « Ain Beida ».....</i>	97
Fig.III.43:	<i>Le spectre de l'échantillon n°2 de l'halite dans le chott « Ain Beida ».....</i>	97
Fig.III.44:	<i>Le spectre de l'échantillon n°3 de l'halite dans le sebkhet « Oum Raneb ».....</i>	98
Fig.III.45:	<i>Le spectre de l'échantillon n°4 de l'halite dans le sebkhet « Oum Raneb ».....</i>	98
Fig.III.46:	<i>Variation de la conductivité électrique dans le Lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	99
Fig.III.47:	<i>Variation du pH dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	99
Fig.III.48:	<i>Variation de la Salinité durant l'année 2001 dans le lac Mellah (Branes, 2009).....</i>	100
Fig.III.49:	<i>Variation du Chlorure dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	100
Fig.III.50:	<i>Variation de SO_4^- dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	101

Fig.III.51:	<i>Variation de HCO_3^- dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	<i>101</i>
Fig.III.52:	<i>Variation de Na^+ dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	<i>101</i>
Fig.III.53:	<i>Variation de Ca^{++} dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	<i>102</i>
Fig.III.54:	<i>Variation de Mg^{++} dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	<i>102</i>
Fig.III.55:	<i>Variation de K^+ dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	<i>103</i>
Fig.III.56:	<i>Variation d'IS dans le lac d'Oubeïra et Tonga.....</i>	<i>103</i>
Fig.III.57:	<i>Diagramme de Schoeller-Berkaloff du lac Oubeïra et Tonga.....</i>	<i>104</i>

Liste des tableaux

Tableau n° I.01 :	<i>Indicateurs de logement.....</i>	09
Tableau n° I.02 :	<i>Secteurs d'activité.....</i>	10
Tableau n° I.03 :	<i>Evolution de la population résidente.....</i>	11
Tableau n° I.04 :	<i>Répartition des infrastructures sanitaires.....</i>	11
Tableau n° I.05 :	<i>Répartition de la population des occupées en 2003.....</i>	14
Tableau n° I.06 :	<i>Les coordonnées de la station de mesure.....</i>	31
Tableau n° I.07 :	<i>Températures moyennes mensuelles en °C (Station d'Ouargla, 1978-2009)....</i>	32
Tableau n° I.08 :	<i>Humidité moyenne mensuelle de l'air exprimé en % (Station d'Ouargla, 1990-2009)..</i>	32
Tableau n° I.09 :	<i>Durée d'insolation moyenne mensuelle exprimée en heure (Station d'Ouargla 1990-2009).....</i>	33
Tableau n° I.10 :	<i>Vitesse moyenne mensuelle des vents exprimée en m/s (Station d'Ouargla, 1990-2009).....</i>	34
Tableau n° I.11 :	<i>Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en (mm) (Station de Ouargla, 1978-2009).....</i>	35
Tableau n° I.12 :	<i>Evaporation moyenne mensuelle (Station d'Ouargla, 1990-2008)</i>	36
Tableau n° I.13 :	<i>Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE</i>	37
Tableau n° I.14 :	<i>Bilan Hydrique de la région d'Ouargla.....</i>	39
Tableau n° I.15 :	<i>Caractéristiques de station de mesure.....</i>	40
Tableau n° I.16 :	<i>Températures moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005).....</i>	40
Tableau n° I.17 :	<i>Tableau: Humidité moyenne mensuelle (Station de Bouteldja, 1980-2005).....</i>	41
Tableau n° I.18 :	<i>Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station de Bouteldja, 1980-2005).....</i>	41
Tableau n° I.19 :	<i>précipitations moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005).....</i>	42
Tableau n° I.20 :	<i>Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE.....</i>	42
Tableau n° I.21 :	<i>Le Ruissellement selon la formule Tixeront-Berkalof.....</i>	45
Tableau n°II.22 :	<i>Valeurs de l'infiltration efficace.....</i>	45
Tableau n°II.23 :	<i>Bilan Hydrique de la région d'El Taref.....</i>	45
Tableau n° II.01:	<i>Les principales caractéristiques des capteurs multi spectraux.....</i>	59
Tableau n° II.02:	<i>Caractéristiques des bandes spectrales ETM+ de LANDSAT.....</i>	60
Tableau n°III.01:	<i>Vérité terrain en Pixels (GroundTruth).....</i>	85
Tableau n°III.02:	<i>Vérité terrain en % (GroundTruth).....</i>	85
Tableau n°III.03:	<i>Examen des résultats d'après l'utilisateur et le réalisateur (maximum de ressemblance).....</i>	85

Introduction générale

INTRODUCTION

La convention de Ramsar, d'importance internationale, est un traité intergouvernemental qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources. Elle est donc utilisée à des fins environnementales par une centaine de pays signataires de cette convention, mais elle reste imprécise pour identifier et délimiter les zones humides (Costa et al., 1996).

Les zones humides dans les bassins endoréiques (Bassins fermés) sont caractérisées par une salinité élevée qui peut menacer l'environnement. Les surfaces touchées par la salinité sont estimées à un milliard d'Hectares environ, 77 millions d'Hectares sont des sols salins induits par l'activité de l'homme, dont 58% dans les régions irriguées (Metternicht et Zinck, 2003). La salinisation et l'engorgement des surfaces irriguées continuent d'augmenter (Benchallal et al., 2009).

L'Algérie abrite une gamme de zones humides très diversifiées : lacs, lagunes, marais, chotts, sebkha. L'adhésion de l'Algérie à la convention de Ramsar a été effective en 1984, à ce jour, 42 sites sont classés sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale, couvrant une superficie de 2 958704 ha représentant 0.78% du territoire national contre 0.02% et 0.08% respectivement pour le Maroc et la Tunisie.

Le bas-Sahara (sud-est algérien) connaît récemment un problème très délicat concernant la remontée des eaux en surface (Idder, 2011), cela est dû aux effets anthropiques issus de l'augmentation de la population nécessitant une exploitation excessive des eaux profondes d'une part et la mauvaise canalisation des eaux usées qui se déversent d'une manière aléatoire dans le sol, ainsi qu'une irrigation abusive dans un sol sableux (perméable) d'autre part. Les eaux de cette région sont caractérisées par une salinité élevée ce qui conduit directement par évaporation à l'accumulation des sels solubles dans le sol ou sur sa surface. Les sels peuvent changer les états de surface du sol (végétation, sol nu), donc cette région est caractérisée par une activité géochimique très importante. La dynamique spatiale et temporelle des sols salés, particulièrement en zone semi-aride ou aride, nécessite un suivi au sol. Cette dernière est facilitée par la télédétection aérienne et satellitaire (Mougenot, 1993). L'identification des zones humides salées par télédétection est liée à la distribution des eaux et des sels en surface. Elle dépend de l'hétérogénéité spatiale, du taux d'humidité et de salinité, des efflorescences des cristaux de sels, des croûtes salines et de la topographie.

Le complexe des zones humides du Nord-Est algérien par sa biodiversité floristique et faunistique est considéré parmi les plus importants d'Afrique du nord ; ces zones humides qui sont réparties en deux grands complexes séparés par l'Oued Seybouse qui sont la Numidie orientale et la Numidie occidentale (Samraoui et De Belair, 1997). La Numidie orientale a une diversité des écosystèmes marins, lacustres et forestiers qui renferment une richesse faunistique et floristique considérable. Une superficie de 76 438 hectares dans cette région jouit d'une protection légale (décret N°8 3458 du 23 juillet 1983) sous le nom de parc national d'El-Kala (PNEK) (Chalabi, 1990). L'application de la télédétection dans cette région est difficile car la couverture végétale qui est dense et couvre la grande partie de la région d'étude.

L'objectif de l'étude est d'essayer d'identifier d'une manière bien définie les zones humides salées de la région d'Ouargla où il existe une importante activité géochimique par l'effet de l'évaporation intense. Les zones humides de la région d'El-Kala par l'utilisation d'une image ETM+ de Landsat et mettre en évidence une différenciation adéquate entre les eaux et les sols humides. Les données Landsat apportent des informations complètes sur la morphologie des unités de terrain, leur couleur et leur lithologie (Escadafal et Pouget, 1989).

Peu de travaux de recherches ont conduit à la cartographie des zones humides salées. Une étude des surfaces d'eau pour la gestion du système d'irrigation au Pakistan a été réalisée par utilisation de classifications (arbre de décision). Les démarches des traitements sont commencées par la création d'un masque sur la végétation par utilisation de l'indice NDVI (indice de végétation normalisé). Ensuite, le calcul de l'indice de brillance a été utilisé pour détecter l'état d'humidité et de salinité des champs abandonnés ainsi que les terres en jachère (Vidal andal., 1997).

Un travail sur la cartographie des zones humides salées, dans le désert de Monegros, NE de l'Espagne, est basé sur la discrimination de la couverture du sol au moyen de classifications des données Radar seules et couplées avec des images Langsa (Castaneda and Ducrot, 2008).

Une étude de développement d'une méthode par classification d'images satellitaires radar ont permis d'identifier les niveaux d'eau dans une surface inondée (Hostache R. et al., 2007).

Notre travail est structurée selon trois parties scindées chacune en plusieurs chapitres.

Au cours de la **Première Partie**, nous nous proposons de présenter les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre physique de notre région d'étude (situation géographique, étude socio-économique, étude géomorphologique, étude géologique et étude hydroclimatique).

Dans la **Deuxième Partie**, nous présentons les différentes méthodes des traitements sur les images satellitaires, et aussi nous présentons les conditions et les modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse des échantillons ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats.

Une synthèse bibliographique portant sur la télédétection, sa définition, son principe et ses bases physique, sur le satellite Landsat 7. Elle comporte également les principales techniques de télédétection et leurs domaines d'application.

La **Troisième Partie**, est consacrée à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus, pour le chapitre télédétection par l'interprétation des résultats obtenus à travers la création de la composition colorée et les autres traitements multispectrale des images satellitaire.

Dans le chapitre hydrochimie une interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux des zones d'études pour avoir la qualité où les faciès chimiques de ces eaux avec l'interprétation des résultats des analyses des sels par diffractomètre de rayons X.

Une conclusion générale synthétise les résultats de cette étude.

Première partie

Contexte général

***Chapitre I : Apercue géographique et
socio-économique***

Chapitre II : Cadre physique

Chapitre III : Ressources en eau

Chapitre I

***Aperçue géographique
et socio-économique***

CHAPITRE I

APERÇUE GÉOGRAPHIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE**1- Caractéristiques Physiques****1.1- Situation Géographique (Ouargla)**

La wilaya d'Ouargla est localisée au Nord-Est du Sahara septentrional (Fig. I.01); elle est distante de 800 Km de la capitale Alger. Occupant une superficie d'environ 163230 km². Elle est limitée par les wilayas d'El Oued et Biskra au Nord, par celles de Djelfa et Ghardaïa à l'Ouest ; Tamanrasset et Illizi au Sud et enfin par la Tunisie à l'Est. Elle compte actuellement 21 communes regroupées en 10 Dairas.

Ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude 31° 57' Nord ;
- Longitude 5° 19' Est ;
- Altitude 164 m.

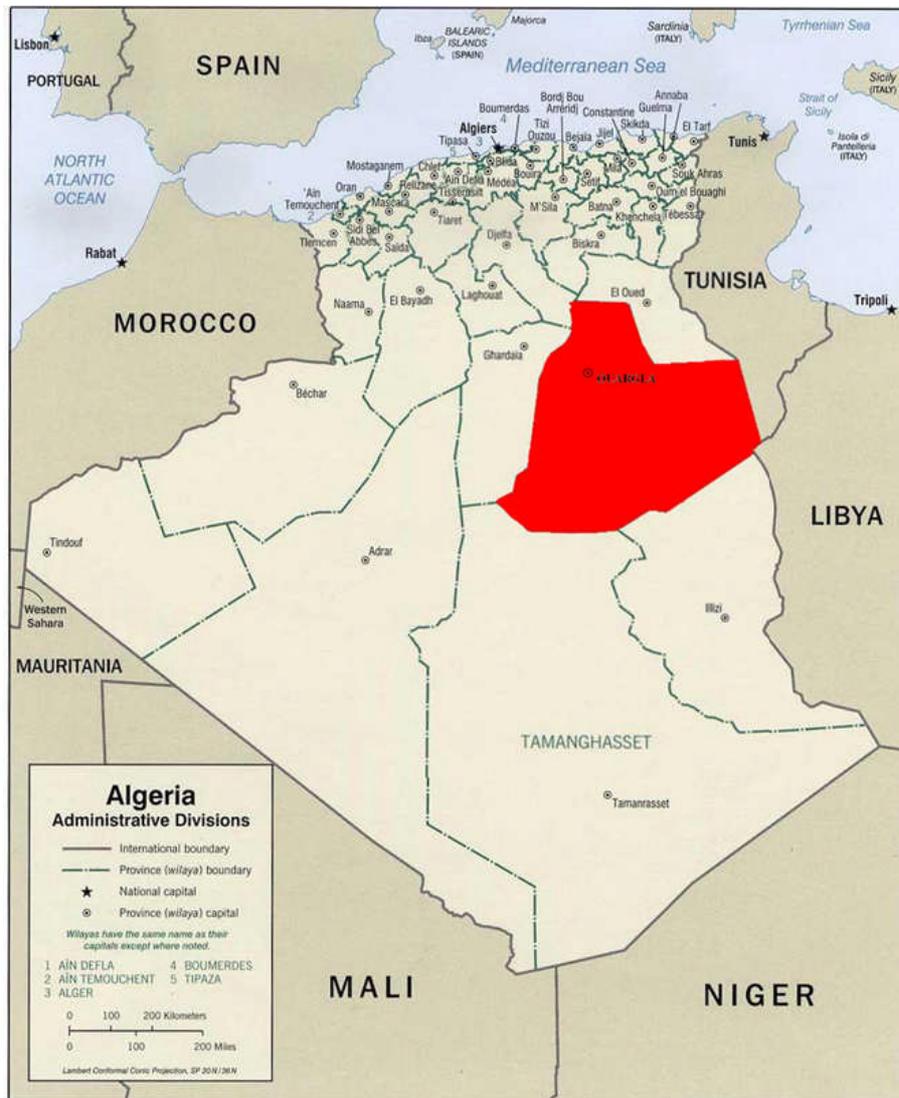


Fig.I.01 : Situation géographique de la région d'Ouargla

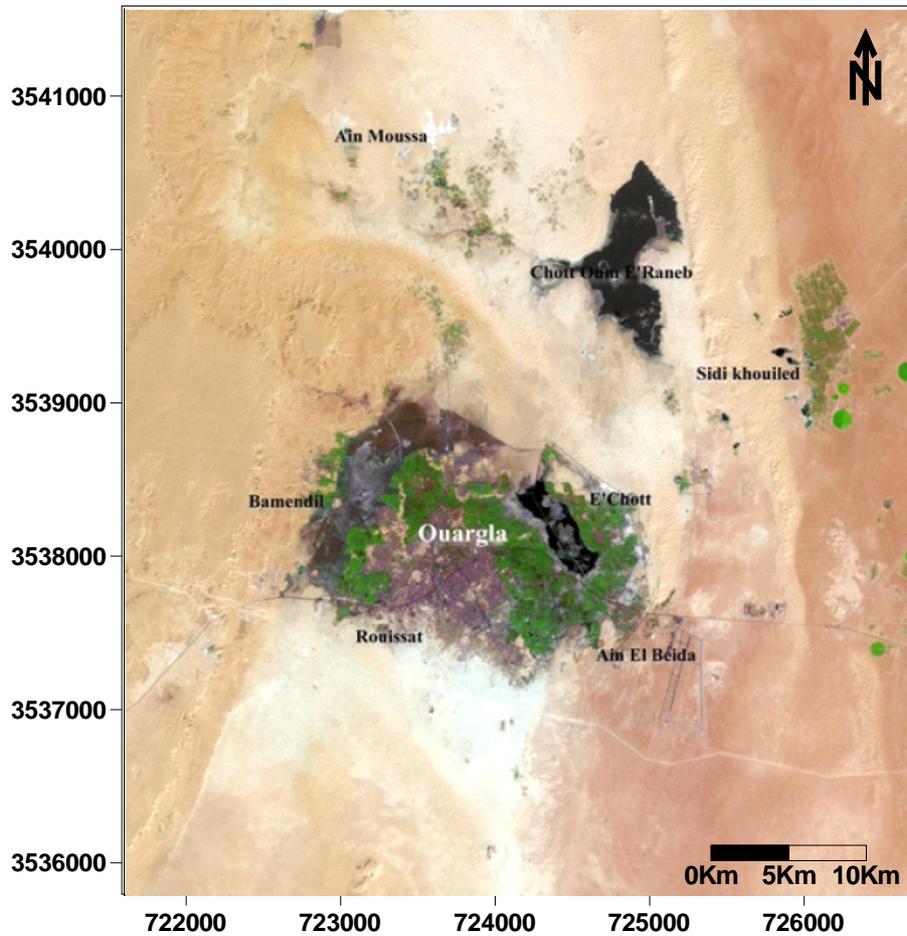


Fig.I.02 : Localisation de la zone d'étude (la ville d'Ouargla et ses alentours)

1-1.1-Présentation des sites d'études (Chotts d'Ain Beida et Oum Raneb)

a-Chott Ain Beida

Le chott d'Ain Beida est une dépression large qui se trouve à 2,5 Km du chef-lieu de la wilaya (Fig.I.02), il est situé entre la palmeraie d'Ouargla à l'Ouest et au Sud, sa longueur est de 3,5 Km, son altitude varie entre 138 et 140 m, sa largeur varie de 1 à 1,5 Km. Sa superficie actuelle est d'environ 1000 hectares.



Fig.I.03 : Chott Ain Beida (Mars 2011)

Actuellement l'alimentation en eau du chott se fait à partir de la nappe phréatique dont le niveau varie en fonction de la saison et des actions de l'homme (drainage de la palmeraie, irrigation) et surtout à partir de la divagation des eaux usées déversées dans le Chott(*Fig.I.03*).

b-Sebkha Oum Raneb

La sebkha d'Oum Raneb est une zone humide située dans une cuvette située à environ 8.25km au Nord-Est de la ville de Ouargla(*Fig.I.01*). Il est localisé entre l'agglomération de Sidi-Khouiled (chef-lieu de la commune) au Sud et l'agglomération d'Oum-Raneb au Nord. Le chott est allongé selon une direction Nord-Sud. Sa superficie varie de 900 à 1400 hectares en fonction du niveau de l'eau.

Le chott est entouré par des formations dunaires au Nord, à l'Est et au Sud. La sebkha d'OumRaneb est alimenté par les eaux usées de la ville d'Ouargla et les eaux de drainage agricole depuis 1983.C'est un site très pauvre en végétation(*Fig.I.04*). Il est alimenté par deux principales canalisations qui collectent les eaux usées depuis une station de pompage située au Nord-Est du Chott Ain-Beida.



Fig.I.04: Sebkha d'Oum Raneb(Mars2011)

1-2- Situation géographique d'El-Kala

Le Parc National d'El-Kala est situé à l'extrême Nord-Est Algérien(*Fig.I.05*), il est intégralement inclus dans la Wilaya d'El-Taref. Correspondant presque au tiers de la superficie globale de son territoire.

Il est limité :

- Au Nord, par la mer Méditerranée.
- Au Sud, par les contreforts des monts de la Medjerda.
- A l'Est, par la frontière Algéro-tunisienne.
- A l'Ouest, par l'extrémité de la plaine alluviale d'Annaba.

Ses coordonnées géographiques sont : 36°52 Nord et 8°27 longitudes au niveau de la ville d'El Kala.

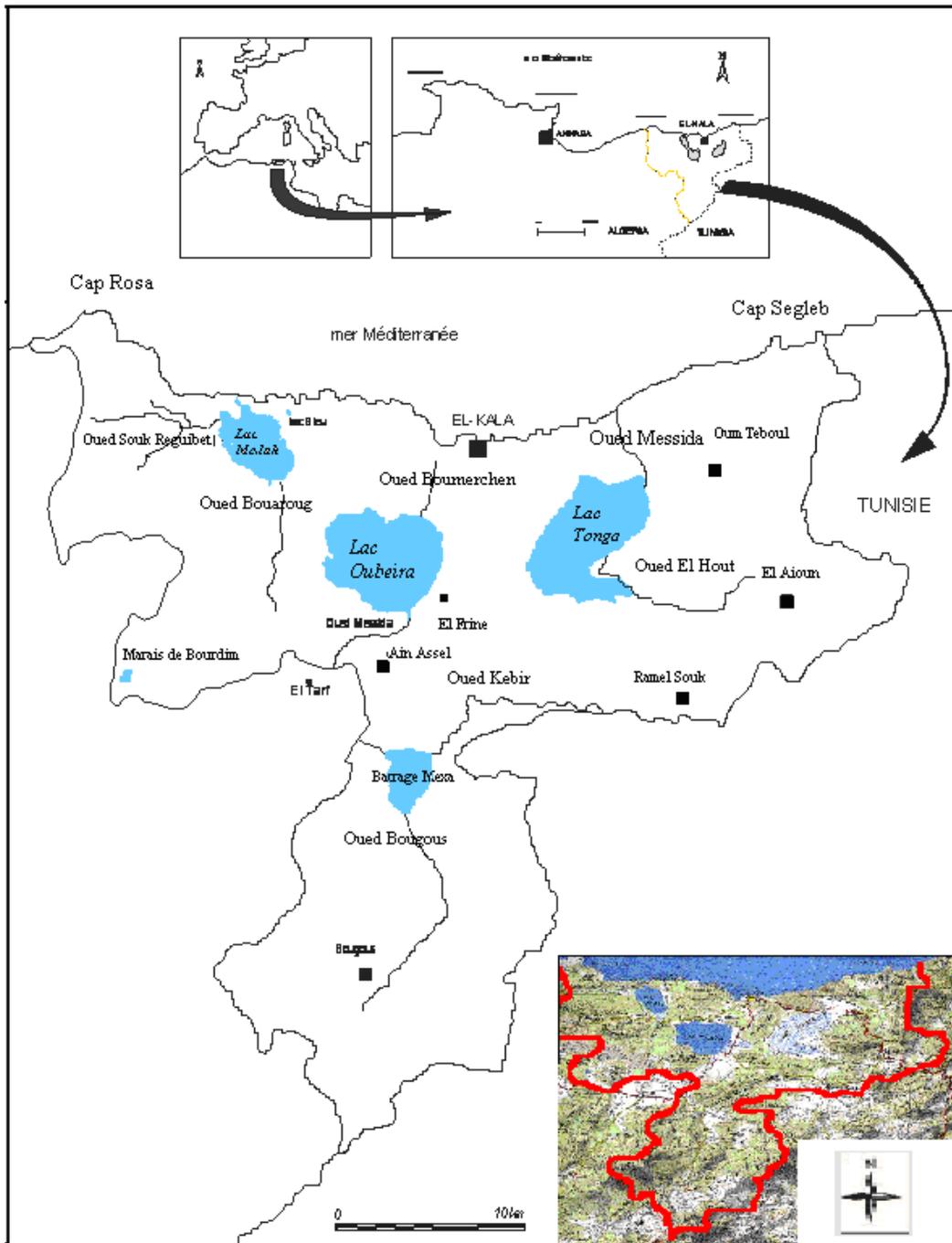


Fig.1.05 Situation et limites géographiques de l'aire du Parc National d'El Kala.

1-2.1-Présentation des sites d'études (Lacs d'Oubeïra, Tonga et Mellah)

a- Le Lac Oubeïra

Le Lac Oubeïra est situé à 3 Km à l'Ouest de la ville d'El-Kala, dans la wilaya d'El-Taref à l'extrême Nord-Est de l'Algérie. La grande ville la plus proche est Annaba à 70 Km à l'Ouest.

L'Oubeïra est situé près des Lacs Mellah et Tonga. Est une étendue d'eau douce d'une superficie de 2 600 ha avec une profondeur maximale de 2 m. Le lac est entouré par

une ceinture de végétation très diversifiée nous observons principalement le chêne liège, le peuplier noir (*Fig.I.06*).

Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude : 36°50' N
- Latitude : 08°23' E
- Altitude moyenne de 25 m.

Le lac Oubeïra a été classée selon le site Ramsar en 1982 au sein du Parc National d'El-Kala reconnu lui-même réserve de la biosphère par L'UNESCO en 1990.



Fig.I.06: Lac Oubeïra (juillet2011)

b- Le lac Tonga

Le lac Tonga est situé à l'extrême Nord-Est du Parc National d'El Kala (wilaya d'El Taref) et de l'Algérie. Il est à l'Est de la ville d'El Kala, à 71 Km à l'Est de la ville d'Annaba et à 3 km à vol d'oiseau de la mer. Au Nord, le lac Tonga est bordé par des dunes littorales le séparant de la mer. Au Sud occupe une vaste dépression de 2700 ha, avec un périmètre de 23km durant la période estivale et une profondeur voisine de 2.80m.



Fig.I.07 : Lac Tonga (juillet2011)

Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude : 36°53' N
- Latitude : 08°31' E

- Altitude moyenne de 2,2 m (Belhadj *et al*, 2007).

La végétation du lac est très diversifiée (Fig.I.07). 14 groupements émergents et 82 espèces dont 32 classées rares, c'est également un lieu d'hivernage et de nidification pour des dizaines de milliers d'oiseaux d'eau (Abbaci 1999), est l'un des sites Ramsar le plus important des zones humides d'Afrique du Nord (Boumezbeur, 1993, Samraoui et De Belair, 1998).

Le site comporte une flore remarquable et assez rares. Le lac Tonga a été inscrit sur la liste Ramsar en 1982 et réserve de la biosphère en 1990.

c- Le lac Mellah

Le lac Mellah est une ancienne vallée fluviale envahie par la mer et qui s'est transformée en lagune de 864ha. Son périmètre en période des basses eaux est de 15.63km avec une profondeur maximale de 6m du fait de son contact direct avec la mer grâce à un chenal artificiel long de 900m qui lui confère un taux de salinité de 8,5g/l.

Le site est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les forêts des deux Lacs et d'AïnKhar, à l'Est par la Forêt de Boumalek et l'agglomération du Pont de la République (Melha) et à l'Ouest, par les plaines de Bouteldja et de Ben M'hidi. Le lac El Mellah est situé à une distance de 10 Km à l'Est de Cap-Rosa, elle fait partie du complexe des zones humides du Parc National d'El-Kala, et à 15 Km à l'Ouest de la ville du même nom. Le lac Bleu est une petite dépression inter-dunaire d'eau douce située entre le lac El Mellah et le cordon dunaire qui le sépare de la mer Méditerranée. Le site est formé de sable et d'argile laguno-marines du Neopleistocène.

Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude : 36°53' N
- Latitude : 08°20' E.

La végétation est peu diversifiée elle est réduite à une ceinture de *Juncusmaritimus* (Fig.I.08). Le lac Mellah est classé site Ramsar depuis le 02 février 1983.



Fig.I.08 : lac Mellah (juillet 2011)

2- Le Cadre Socio-Economique

2-1-Région de Ouargla

2-1.1-La situation sociale

a- Evolution de la population

La population d'Ouargla, d'origine nomade, s'est sédentarisée particulièrement depuis la découverte du pétrole dans la région, et la mise en œuvre du programme spécial dans l'ex-wilaya des oasis qui s'est traduit par la réalisation d'un programme d'habitat et d'équipement; mais son évolution est liée à la période post indépendance, au cours de laquelle le nombre d'habitants n'a cessé d'évoluer.(EL AYACHI.B, 1951)

La population d'Ouargla et son aire métropolitaine ont évolué de 23266 habitants en 1966 à 164453 en 1998, ce qui représente un apport démographique de 141387 dont plus de 60% est observé dans l'agglomération d'Ouargla. C'est une évolution importante mais qui s'est faite d'une manière contrastée.

b- La santé

Avec 5 médecins pour 10 000 habitants la population de la région en 1998 est plutôt bien pourvue, mais là encore les dentistes (34 au total) et les pharmaciens (16) sont en nombre très insuffisants. Il existe 2 hôpitaux dont un à Hassi Messaoud et un à Ouargla ce qui donne respectivement 30 et 60 lits pour 10 000 habitants. (BRL ingénierie (1999)

c- Le logement

Avec 6 habitants par logement on se trouve dans une situation à peine meilleure que pour la moyenne saharienne (*Tableau n°I.01*). Le taux d'électrification dépasse 90 % dans Ouargla et la plupart des communes, mais il semble être très insuffisant à Ain Beida (65 %). Le raccordement à l'eau potable n'est guère satisfaisant : 47 % à N'Goussa, 60 % à Ain Beida.

Tableau n°I.01: Indicateurs de logement

Communes	95 Pop. totale	Total Logement	Hab/ Logement	Logements électrifiés %	Logements eau potable %
Ain Beida	12447	2308	5	65	61
Hassib.Abdellah	2700	650	4	98	97
N'goussa	13722	2780	5	67	47
Ouargla	100 469	15384	7	92	86
Rouissat	27033	6257	4	78	78
Sidi Khouiled	3700	797	5	96	96
Total Ouargla	191153	34393	6	87	82

Source: B.R.L., 1999

2-1.2-La situation économique

a- Le taux d'activité

Pour près de 95 000 actifs la région compte plus de 47 000 personnes déclarant avoir un emploi, ce qui semble indiquer que toute la population masculine trouve du travail et que cette région ne connaît pas le chômage, en réalité les zones de fixation des nomades (N'Goussa et Rouissat) montrent que le sous emploi existe pour les personnes peu qualifiées (14 % et 28 % de taux d'activité).

b- Les grands secteurs d'activité

Les deux tiers environ des personnes qui travaillent sont employés par le secteur public. Seulement le cinquième des gens occupés travaille dans l'agriculture, ce qui représente un des taux les plus bas du Sahara. Sidi Khouiled, Ain Beida et N'Goussa vivent essentiellement de l'agriculture. Plus étonnant Hassi Ben Abdallah périmètre agricole créé vers 1970 dans le cadre d'un programme d'état ne connaît que 22 % d'agriculteurs dans sa population active. Il est probable que les logements ont exercé un attrait sur des catégories de gens étrangères à l'agriculture (*Tableau n°I.02*).

Tableau n°I.02: Secteurs d'activité

Communes	Sect. Public	Sect. Privé	Pop. occupée	Empl. agricoles	Nbre exploitations	% agricole
Ain Beida	570	1 400	1 970	1 340	1 356	68
Hassib.Abdellah	200	50	250	40	40	16
N'goussa	410	497	907	420	812	46
Ouargla	13 498	7 776	21 274	3 527	3 527	17
Rouissat	1 722	1 914	3 636	1 598	1 498	44
Sidi Khouiled	300	900	1 200	741	830	62
Total Ouargla	32 745	14 607	47 352	7 865	8 076	17

Source: O.N.S.

c- L'activité agricole

L'activité agricole n'est plus la ressource essentielle de la région : on a un peu moins de 8000 agriculteurs qui se partagent les 9000 ha irrigués répertoriés dont 6800 sont occupés par des palmeraies qui produisent 30000 tonnes de dattes (moins de 9000 tonnes de « Deglet-Nour »). Les palmeraies du Chott sont fortement dégradées par les difficultés de drainage et l'urbanisation. La nouvelle agriculture se met en place sur le plateau vers Hassi ben Abdallah et route d'Hassi Messaoud. N'Goussa voit se développer les cultures légumières.

2-2-Région de Taref

2-2.1-La situation sociale

a- Evolution de la population

Depuis l'indépendance, la population des neuf communes du Parc National d'El-Kala

ne cesse d'accroître avec un rythme de 3.15% par année. Cette région comptait 38727 personnes au recensement général de la population et de l'habitat de 1966.

En 2003, la population résidente est estimée à plus de 122000 habitants (soit un dédoublement de la population chaque dix ans) (Tableau n° I.03). (Bouazouni2004)

Tableau n° I.03 : Evolution de la population résidente

Communes	Sup. en Km ²	RGPH 1966	RGPH 1977	RGPH 1987	RGPH 1998	Année 2000	Année 2001	Année 2002	Année 2003	Taux de croissance population
El Taref	111.4	5082	7679	13916	20257	22018	22764	23536	24334	4.32%
Ain el Assel	94.8	4780	6606	9859	12413	13063	13332	13607	13887	2.92%
Bougous	215.8	3804	7171	9043	10615	11098	11257	11417	11581	3.05%
El Kala	292.0	10041	13037	19515	14944	26339	26918	27511	28116	2.82%
Souarekh	87.4	3180	4085	6070	7489	7846	7994	8144	8297	2.63%
Ramel Souk	50.0	1658	2368	2931	3654	3837	3913	3990	4068	2.46%
El Aioun	45.9	1866	2375	3590	4582	4837	4943	5051	5162	2.79%
Berrihane	202.5	3185	4630	6903	8338	8694	8841	8990	9142	2.89%
Bouteldja	113.5	5131	7105	11479	15311	16322	16745	17178	17623	3.39%
Total Parc	1213	38727	55056	83306	92292	97732	99962	119424	122210	3.15%
Total Wilaya	2892	123624	178614	275315	353532	375396	383955	392726	401716	3.24%
% Pop. du Parc par rapport à la Wilaya		31%	31%	30%	26%	26%	26%	30%	30%	

Source: DPAT

b- La santé

L'analyse du tableau précédant montre que la région du parc national d'El-Kala est la plus équipée en infrastructure sanitaire dans la wilaya. Ainsi, un lit d'hôpital est destiné à 364 habitants des neuf communes du parc. Par contre, dans le reste de la wilaya, cette norme correspond à 2200 habitants. Chaque officine pharmaceutique couvre les besoins en médicaments de 3400 habitants au niveau de la région du parc (4200 hors région du parc).

Les communes d'El-Kala et d'El-Taref s'accaparent de la majorité des infrastructures sanitaires.

La localisation des deux hôpitaux à El-Taref et El-Kala a entraîné l'implantation de médecins spécialistes avec 73% du total de la wilaya. Les médecins généralistes et les chirurgiens dentistes gravitent aussi autour des grands centres de soins. Le privé reste moins présent sauf dans l'activité de pharmacie où plus de 66% des officines appartiennent à des privés (Tableau n° I.04). (Bouazouni2004)

Tableau n° I.04 : Répartition des infrastructures sanitaires

Communes	Population	Hôpitaux		Polyclinique		Centre de santé	Salles de soins	Agence pharmaceutique			laboratoire	
		Nb	Nb lits	Nb	Nb lits			public	privé	total	Secteur public	Secteur privé
El Taref	24334	1	96	--	--	1	4	2	6	8	3	1
Ain el Assel	13887	--	--	--	--	2	1	1	2	3	--	--
Bougous	11581	--	--	--	--	--	7	1	1	2	--	--
El kala	28116	1	24	1	14	1	6	3	10	13	4	0
Souarekh	8297	--	--	--	--	1	2	1	1	2	--	--
Ramel souk	4068	--	--	--	--	--	2	1	0	1	--	--
El Aioun	5162	--	--	--	--	1	1	1	0	1	--	--
Berrihane	9142	--	--	--	--	--	4	1	0	1	--	--
Bouteldja	17623	--	--	1	12	--	5	1	4	5	1	0
Total parc	122210	2	336	2	26	6	32	12	24	36	8	1
Total wilaya	401716	3	463	7	57	13	80	26	76	102	14	1

Source: direction de la santé

2-2.2-La situation économique

La wilaya d'El-Tarf exporte beaucoup de produits agricoles, agro-industrielles et de la pêche d'une part, et elle a toujours transféré une grande quantité d'eau vers les zones industrielles d'Annaba et même les populations d'autre part.

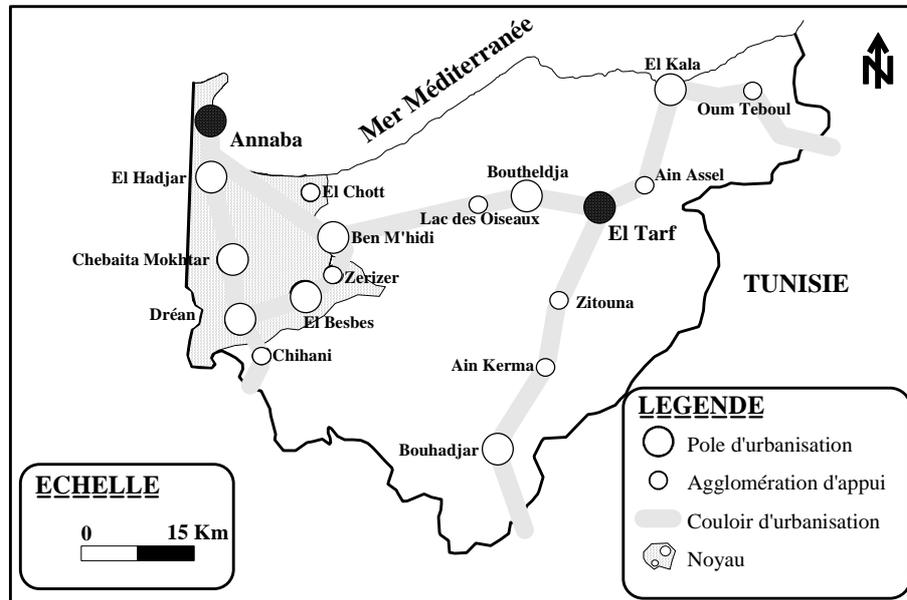


Fig.I.09: Réseau urbain.

[D'après: Plan d'Aménagement de la Wilaya d'El Taref (2001)]

Les couloirs d'urbanisation suivent les grands axes de transport formés par les routes nationales (Fig.I.09). La population agglomérée de la wilaya d'El Taref est estimée à 296254 habitants (1998), soit un taux d'agglomération de 86 %. Aussi le système urbain se caractérise par une tendance à la forte densité des agglomérations.

A travers quelques indicateurs, il apparaît que la zone des plaines observe les plus forts taux d'agglomération et de densité d'agglomération.

a-Agriculture

La région d'étude est incontestablement à vocation agricole, c'est le secteur le plus pourvoyeur d'emplois permanents et saisonniers. Avec un S.A.T de 11 000 ha, l'agriculture occupe 14,5 % du territoire de PNEK.

Les céréales occupant la première place avec les cultures maraichères ; viennent ensuite l'arboriculture fruitière, l'arachide et les cultures industrielles (tomate) ; le reste de la superficie est réparti entre les légumes secs et le tabac (Fig.I.10).

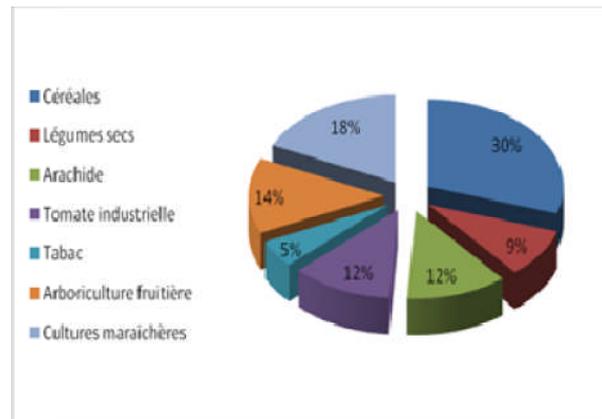


Fig.I.10 : Répartition de la superficie agricole totale entre les différentes cultures.

b- Pêche

El-Kalam a un seul port de la zone considérée par l'étude et aussi de toute la wilaya d'El Taref qui compte 90 km de côtes. Une centaine d'embarcations de pêche professionnelles est signalée, constituée de 10 chalutiers, de 20 sardiniers, de 60 petits métiers et d'une vingtaine de corailleurs dont quelques-uns sont réellement en activité.

Le corail qui fait la célébrité de la petite ville côtière connaît de temps à autre des situations tourmentées qui suspendent les activités de pêche et dont les raisons sont plus d'ordre administratif que technique. Il faut ajouter à cela un nombre non négligeable de plaisanciers qui pratiquent la pêche à des fins commerciales mais dont on ignore avec précision le volume des prises.

c- Industrie

L'industrie au sens propre du terme est pratiquement inexistante dans le parc national et par extension dans toute la wilaya. La région a été ainsi préservée par les choix faits dans les années 70 de concentrer l'activité industrielle autour d'Annaba. La protection apportée par la création du Parc National au début des années 80 et l'opposition apparue localement contre une industrie de pâte à papier sur les bords du lac Oubeïra ont découragé les promoteurs de ces secteurs d'activité. Ce qui est considéré localement comme industrie se résume à quelques activités qui relèvent de la petite et moyenne entreprise (PME/PMI). Nous pouvons citer la fabrique de menuiserie générale à El Taref, la briqueterie et la conserverie de tomate à bouteldja, l'unité de mise en bouteille de gaz butane à El Taref et une unité de fabrication de matériel sanitaire à El Kala, sans oublier l'unité de fabrication de pipes, qui est l'exemple type de la valorisation des souches de bruyère récoltées des subéraies limitrophes.

d- Mines et carrières

La géologie régionale favorise l'exploitation des roches pour les matériaux de construction. L'extraction de sable, grès et argile a entraîné l'ouverture de nombreuses carrières et sablières de façon très anarchique. Dans la zone sud du parc national, la réalisation d'un réseau de voies de communication s'est effectuée à partir de matériaux argileux prélevés sur place et qui a donné une multitude de carrières. On compte une

dizaine de sablières autorisées ou non autour d'El Kala et dont les prélèvements ont été estimés à 200 000 tonnes/an. Les carrières ouvertes dans le bassin versant du lac Mellah ont considérablement affecté le caractère sauvage et vierge du paysage.

e- Le taux d'activité

La wilaya d'El-Taref est une wilaya à vocation agricole. En fait, le poids de main d'œuvre occupée dans ce secteur représente 31% du total. Malgré l'existence de potentialités touristiques et des ressources hydriques importantes dans toute la wilaya, le niveau d'emploi reste très faible. L'administration, le commerce et bâtiment réuni englobent 40% de la main d'œuvre occupée de la wilaya (Tableau n° I.05).

Tableau n° I.05 : Répartition de la population des occupées en 2003

Communes	Agric- Pêche-Foret	Industrie	Administ.	Comm.	BTP+HYD	Sant	Educ.	Autre	Total
El Taref	1570	329	10938	1807	1131	288	394	458	16915
Ain el Assel	1219	43	89	575	513	66	370	183	3058
Bougous	845	17	64	241	182	37	147	113	1646
El kala	2386	293	218	1581	1025	376	563	723	7165
Souarekh	667	18	63	243	263	48	178	168	1648
Ramel Souk	975	19	73	135	194	42	134	120	1692
El Aioun	640	15	49	116	245	39	141	127	1372
Berrihane	653	11	53	124	261	33	139	129	1403
Bouteldja	1245	147	168	1362	744	127	389	377	4559
Total Parc	10200	892	11715	6184	4558	1056	2455	2398	39458
Total wilaya	26627	2482	13753	15257	12087	2459	6565	6763	85993

Chapitre II

Cadre physique

CHAPITRE II

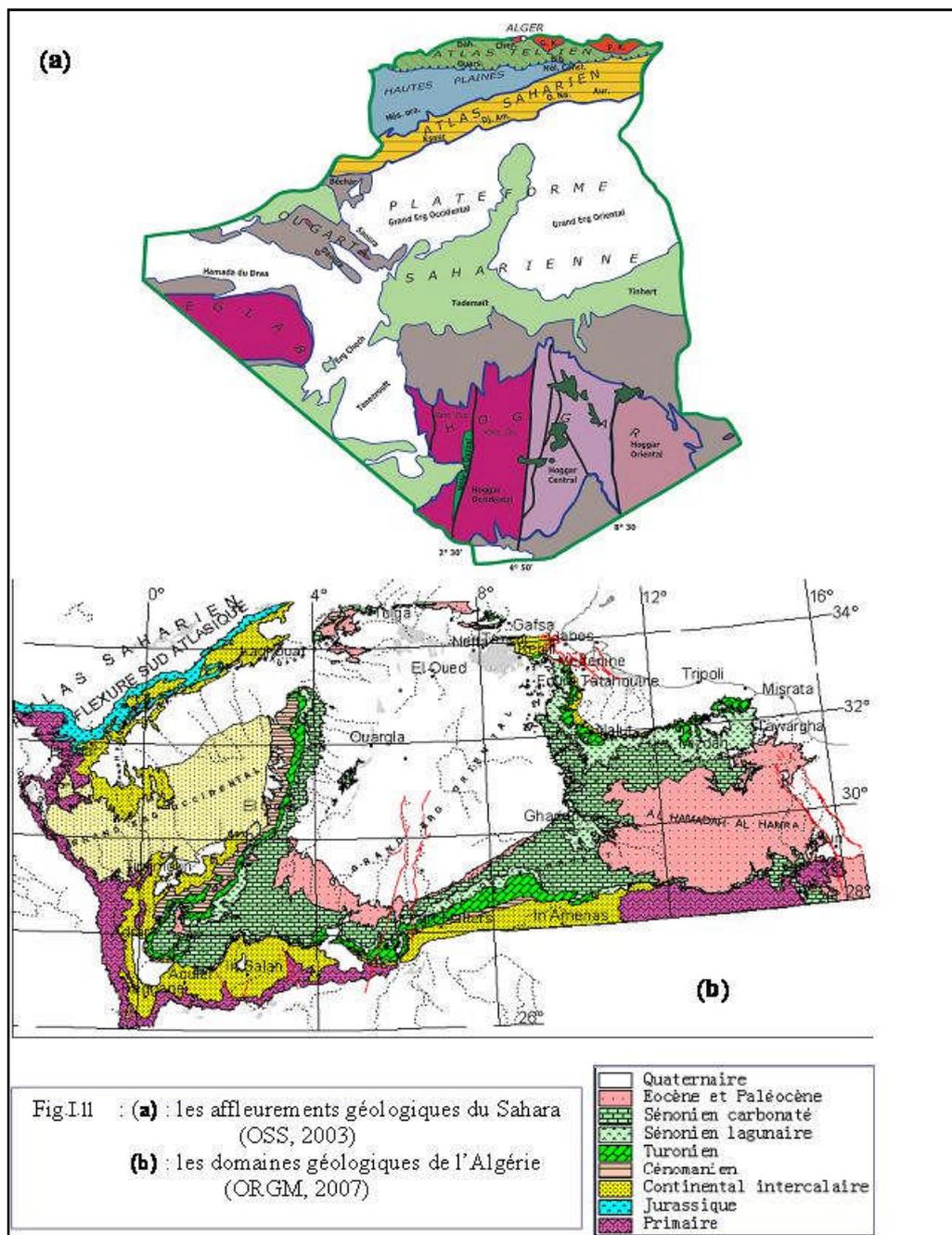
CADRE PHYSIQUE

I- LA GÉOLOGIE

I.1- Région d'Ouargla

I.1.1-Le contexte géologique régional

Notre région d'étude fait partie de la plate forme saharienne. Géostructuralement, cette plate forme est constituée d'un bouclier précambrien (*Fig.I.11.a*), n'émergeant des sédiments qu'ils surmontent que dans le Sahara Central (Massif du Hoggar) et le Sahara Occidental (Massif des Eglab) (UNESCO, 1972).



Il est constitué de roches éruptives et métamorphiques, aplani par l'érosion, et surmonté par des couches sédimentaires de plusieurs milliers de mètres, allant du Primaire (Cambrien) au Quaternaire. Ces couches sont plus ou moins plissées en forme d'un grand bassin sédimentaire dissymétrique.

Ce bassin se subdivise en trois (03) sous domaines : le bassin du Grand Erg Occidental, le bassin du Grand Erg Oriental, séparés par l'anticlinal du M'Zab, et celui du plateau de la Hamada El Hamra (*Fig.I.11.b*).

Ouargla se trouve ainsi enfoncée dans la dépression de l'Oued M'ya. Cette dépression fait partie, selon le découpage administratif, du « Bas Sahara », qui offre une topographie basse (-40m) en dessous du niveau de la mer, au Chott Melrhir (au Nord) (*Fig.I.12*).

Elle est occupée par les formations du bassin oriental, qui renferme les puissants aquifères et les impressionnantes réserves pétrolifères (Cornet, 1964) et qui font la richesse du Sahara (Fontaine, 1996).

L'épaisseur totale de la couverture sédimentaire atteint 400 m dans la partie Sud et la partie Ouest de la dépression, et elle augmente dans la partie Nord jusqu'à 6000 m (Aliev, 1972).

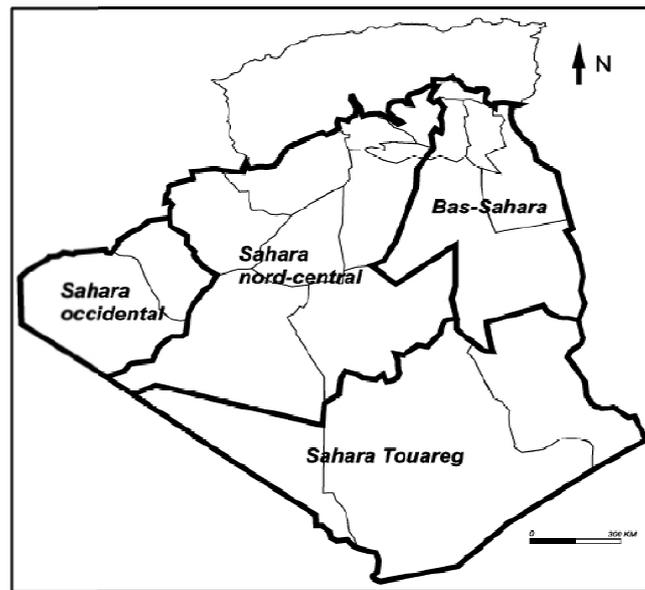


Fig.I.12: Le découpage de l'espace saharien (Brule et al, 2003).

Les données géophysiques (sismologiques), montrent que la dépression est structurellement affectée par les failles hercyniennes du Hoggar (Aliev, 1972 ; Fabre, 1976) à partir du Cambrien jusqu'au Sénonien inférieur (*Fig.I.13*). Ces failles sont orientées Sud-Est Nord-West et traversent la région de Ouargla par l'Est. Elles seraient à l'origine de communications inter aquifères dans cette zone (Guendouz et al, 1992 ; Edmund et al, 2003 ; Guendouz et al, 2003).

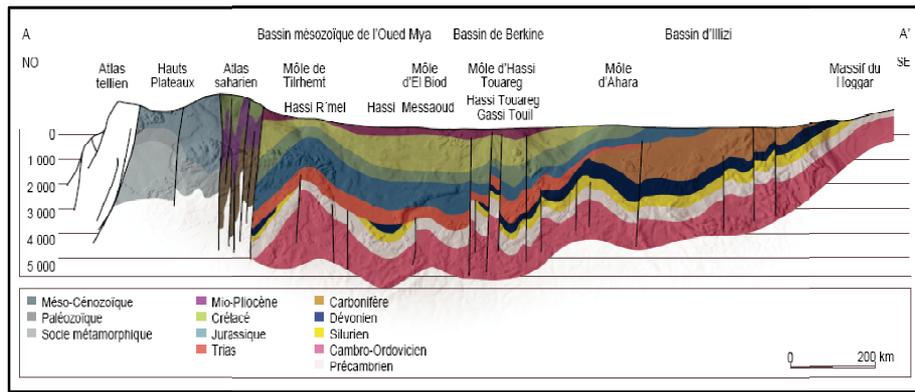


Fig.I.13 : Coupe géostructurale transversale régionale (WEC, 2007)

I.1.2-Géologie locale de la région d'Ouargla

Sur la région d'Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent (Fig.I.14), ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaire. A partir des données de forages pétroliers et celles des forages hydrauliques, nous avons établi des coupes géologiques et un log synthétique des formations lithologiques. La description des différentes formations a pu être effectuée.

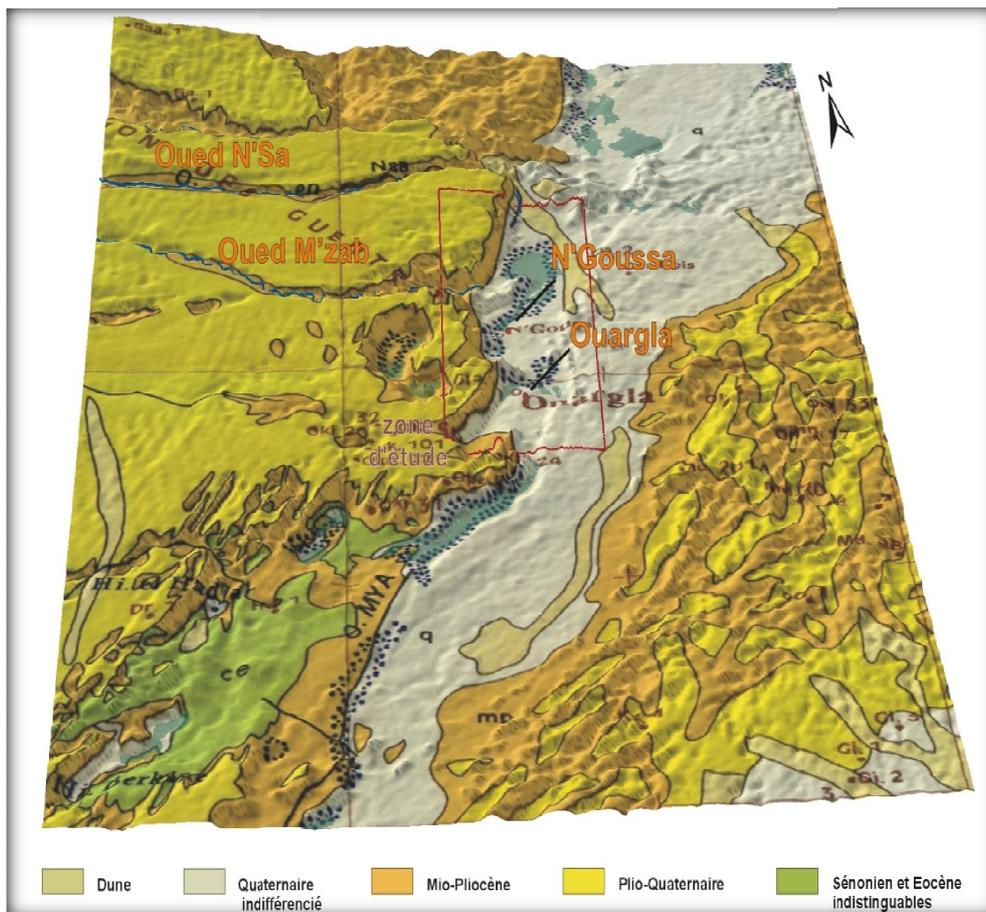


Fig.I.14 : Relief géologique de la région d'Ouargla Superposition de la carte géologique de G. Busson au MNT

I.1.3-Litho-stratigraphie

I.1.3.1-Aptien

Il est constitué par la "barre aptienne " dans la région d'Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques, gris verte, brunes ou blanches, et dolomies cristallines, son épaisseur est variable, elle est comprise entre 20 et 26 m. L'aptien est considéré comme imperméable dans son ensemble.

I.1.3.2-Albien

Sur la région d'Ouargla, l'Albien correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire; Ce sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (417- 432 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90%) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois d'intercalations de sables grossiers à limons argileux ou souvent carbonatés. On note des passées d'argiles brun-rougeâtre, elles sont même pélitiques et sableuses sur les puits les plus septentrionaux. Dans son ensemble, L'Albien correspond à un horizon aquifère.

I.1.3.3-Vraconien

L'intercalation Albo-varconienne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès Albien et les argiles Cénomaniennes, Il est formé de:

- Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont inférieures à 100 m mais supérieures à 50 m sur Haoud-Berkaoui, sauf quelques exceptions locales en particulier dans deux puits de Haoud-Berkaoui.
- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

I.1.3.4-Cénomaniennes

Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) :

- La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtre ou gris-verdâtre, son épaisseur varie entre 65 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série.
- La série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite, de quelques intercalations dolomitiques, et de passées de sel gemme, son épaisseur est de l'ordre de 70 m.

I.1.3.5-Turonien

Il se présente sous forme d'une dalle ayant une épaisseur régulière "barre turonienne", il est de l'ordre de 73 m. Il s'agit d'une série essentiellement calcaire : calcaire poreux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique.

1.1.3.6-Sénonien lagunaire

Le Sénonien lagunaire y est particulièrement épais, son épaisseur est supérieure à 400 m. Il est formé par :

- Sénonien salifère : ayant une épaisseur moyenne de 200 m ; au niveau du forage 621J10, elle diminue jusqu'à 100 m.
- Sénonien anhydritique : son épaisseur moyenne atteint 300 m.
- Sénonien carbonaté : Son épaisseur moyenne est de 150 m excepté pour le forage 581J10 où elle est de 100 m.

1.1.3.7-Sénonien et Eocène

Le Sénono-Eocène est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 à 200 m. Il s'agit des calcaires dolomitiques cristallins ou microcristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux.

1.1.3.8-Mio-Pliocène

Le Mio-Pliocène correspond au Continental Terminal. C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénonien et l'Eocène. On distingue quatre niveaux différents dans le Mio-Pliocène à Ouargla.

- A la base, un dépôt argileux peu épais recouvrant dans la partie centrale de la cuvette, et suivant une bande Nord-Sud, le Sénonien et l'Eocène.
- Deuxième niveau : C'est un dépôt grésosableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais et le plus constant; le deuxième niveau est le principal horizon aquifère du Mio-Pliocène.
- Troisième niveau : C'est une formation argilo-sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche apparaît que dans certains endroits.
- Quatrième niveau : C'est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène. On ne peut le distinguer que lorsqu'il repose sur le niveau 3 ; d'ailleurs les niveaux 2 et 4 sont confondus. Il est très épais dans la zone des chotts, le sommet du niveau 4 affleurant sur de grandes surfaces; le niveau 4 est souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux.

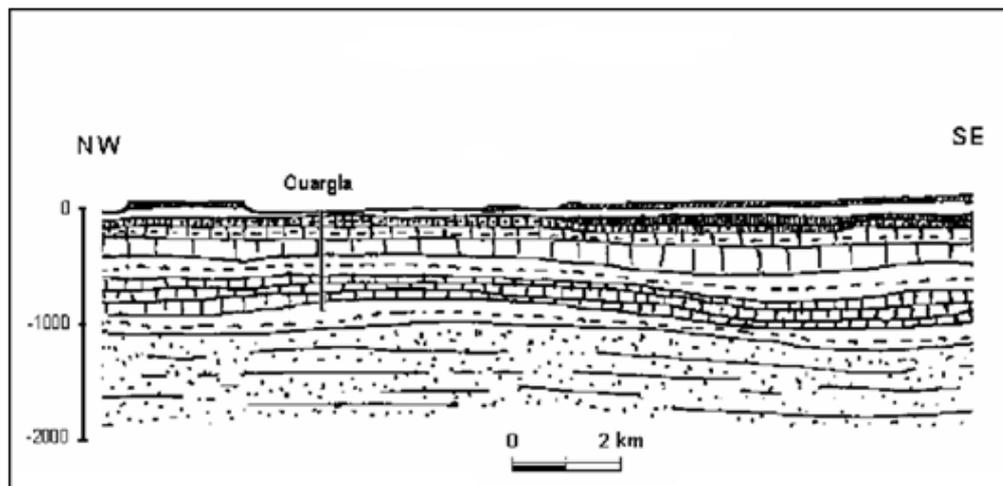
1.1.3.9-Quaternaire

À la base du quaternaire, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Ce niveau met en charge les aquifères du Mio-Pliocène à Ouargla. Le niveau le plus superficiel est constitué de sable éolien parfois gypseux et des produits de remaniement des terrains Mio-Pliocène. Les nappes phréatiques sont généralement contenues dans ce dernier niveau. Les sondages superficiels (profondeur moins de 30 m) effectuées dans différente localité de la cuvette(*Fig.I.15*), ont permis de rencontrer les ensembles suivants:

- Sur le plateau, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du Mio-Pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région; jusqu'à 8 m de profondeur il ne présente aucun niveau d'encroûtement; entre 25 et 75 cm de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.
- Sur les chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse ou polygonale, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de sebkhas associés à une végétation gypso halophiles. De 15 à 20 cm d'épaisseur on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. En dessous un tuf présente un teneur de gypse décroissante.
- Les Sebkhas sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.
- Les dunes sont de sable éolien d'origine gréseux provenant de Hamada Mio-Pliocène. Il existe dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhas, et sur les versants rocheux.

D'après la carte géologique réalisée par G. Busson, le relief d'Ouargla est constitué de roche sédimentaires et alluvions et colluvions dérivées de ces roches:

- Marne jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées ou gypseuses;
- Calcaires ocre, gréseux ou marneux;
- Argiles sableuses rouges à ocres salées et gypseuses;
- Grés, sables et conglomérats;
- Calcaires lacustres;
- Sables récents du quaternaire.



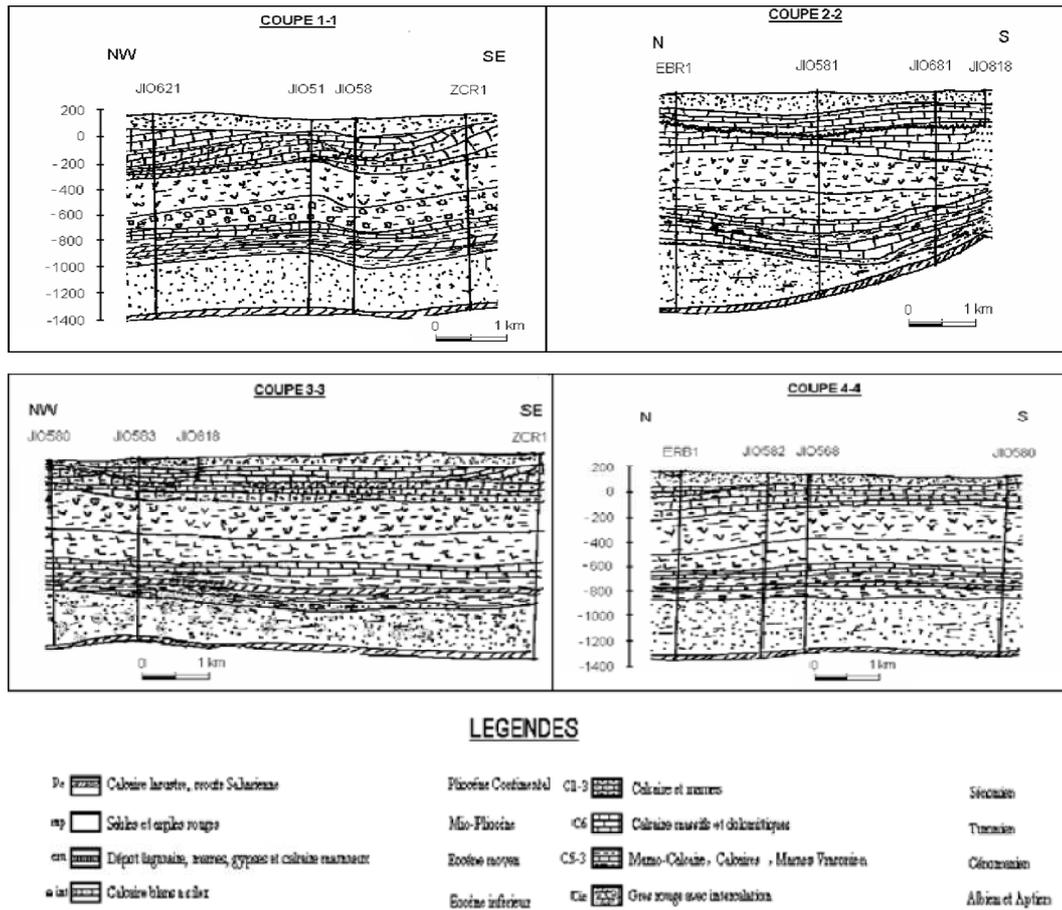


Fig.I.15: Coupes géologiques de la cuvette d'Ouargla

I.1.4. Aperçu Tectonique

La cuvette d'Ouargla fait partie de la dépression d'Oued M'ya. Cette dernière, occupe la plus grande partie du bas-Sahara. L'épaisseur totale de la couverture sédimentaire atteint 400 m dans la partie Sud et la partie West de la dépression, et elle augmente dans la partie Nord jusqu'à 6000 m. Dans son ensemble la dépression d'Oued M'ya est une structure dissymétrique assez plate.

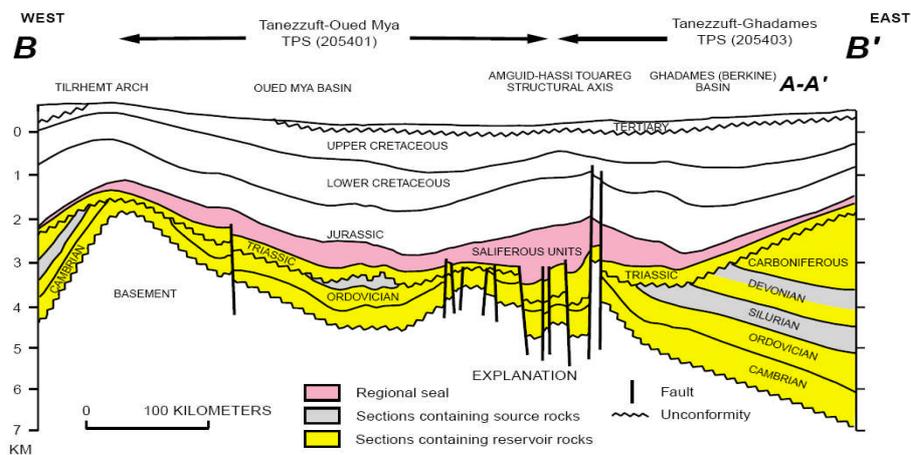


Fig.I.16 : Coupe stratigraphique Est-Ouest à travers les bassins d'Oued Mya et de Ghadames (Berkine). (ENAGEO, 1993)

Les données sismologiques recueillies à l'occasion des recherches pétrolières, montrent que la dépression est structurellement affectée par les failles hercyniennes du Hoggar à partir du Cambrien jusqu'au Sénonien inférieur (*Fig.1.16*). Ces failles sont orientées Sud-Est Nord-West et traversent la région de Ouargla par l'est. Elles seraient à l'origine des apports profonds dans la vallée d'Oued Mya.

I.2- Région de Taref

I.2.1-Aperçu Géologique

Afin de cerner et mieux comprendre la géologie de la zone d'étude, il convient de décrire la géologie de la région, les études dans ce domaine (Joleaud, 1936 ; Villa 1980 et Marre 1987) ont montrées qu'à part la plaine d'Annaba où les terrains quaternaire affleurent le reste du domaine est marqué par l'existence du grès numidien qui occupent l'ensemble des massifs. Seuls les bassins montrent des affleurements de roches tendres des unités telliennes ou massyliennes ou mauritaniennes

I.2.1.1- Caractéristiques stratigraphiques de la région d'El Kala

La région fait partie du domaine tellien de la zone Extrême Orientale d'Algérie. Les terrains géologiques essentiels rencontrés sont :

I.2.1.1.1- Le secondaire

Cet étage est caractérisé par des formations schisteuses plus ou moins argileuses de couleur bleue ardoise avec des passages calcaireux et une microfaune d'âge Sénonien supérieur. Ces formations affleurent en plusieurs endroits surtout dans la forêt de Djebel Ghorra (Menzel beldi), sur la rive Ouest du lac Tonga (Daïa Zitoune) et à El-Aïoun au lieu dit Oued Djenan.

I.2.1.1.2- Tertiaire

Il est défini par des formations grés-argileuses Numidiennes couvrants d'ouest en Est particulièrement la barrière montagneuse du Sud des monts de Cheffia et des monts d'El Kala.

Les argiles forment le substratum général de la région, d'ailleurs elles assurent l'étanchéité totale. Les bancs des grés peuvent atteindre les 50 m d'épaisseur, on distingue:

a- Eocène inférieur

Il affleure en une série transgressive des calcaires marneux à Silex ou à bitume.

b- L'Eocène supérieur

Il est caractérisé par des formations argileuses du Numidien de couleur rouge ou grise. Parfois sur la base vert à brunâtre d'où le nom des flyschs type Numidien limitant les alluvions des oueds avec des intercalations des bancs gréseux.

c-L'Oligocène

Il est représenté par des argiles surmontées par des grés Numidiens avec des intercalations des petits bancs de grés quartzeux qui se définissent sur tout les reliefs des collines du flanc sud de la plaine d'El-Tarf et limitent les alluvions des oueds.

d- Le Miopliocène

Il définit essentiellement le remplissage des fossés d'effondrement d'El Tarf et de Bouteldja, comme il se développe bien dans la cuvette de la Cheffia et autour du village d'Ain Karma. Il est constitué par des sables, des congglomérats et des argiles rouges et grises.

1.2.1.1.3. Le Quaternaire

Il se définit par des alluvions qui affleurent en éboulis de pente résultant des phénomènes successifs d'érosions , d'altération , de transports et de dépôts des éboulis du grés Numidien ou des limons , sables sur les rives des oueds, les estuaires et les lacs.

a-Quaternaire ancien

Il caractérise les plaines de la région qui sont une vaste zone d'épandage de l'oued Bou Namoussa et El- Kebir Est. Il est marqué par un affaissement du littoral correspondant aux alluvions sableuses rencontrées dans les terrasses moyennes alluvionnaires situées au sud Ouest de Bouteldja et au centre de la plaine d'El-Tarf/Ain Assel.

b-Quaternaire moyen

Il est présent le long des versants des oueds, défini généralement par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux. On distingue :

– pléistocène ancien

Il définit les hautes terrasses et se caractérise par des formations alluvionnaires avec des cailloux roulés et des blocs de grés Numidiens enrobés ensemble dans une matrice argileuse plus ou moins épaisse.

– pléistocène moyen

Il correspond aux moyennes terrasses qui traversent la région d'El-Tarf jusqu'à Ain El Assel et parfois les rives de l'oued El-Kebir Est et qui sont constituées de cailloux roulés, de sables et de limons.

– pléistocène récent

Le pléistocène récent correspond aux basses terrasses, aux versants des oueds et présente un grano-classement naturel défini par les galets à la base, surmontées par les graviers et à la surface se trouvent les sables et les limons jouant le rôle de couverture et de toit pour les aquifères présents.

c-Quaternaire récent

Il correspond aux dépôts alluvionnaires, sables cailloux et limons fins avec dominance d'argiles parfois canalisant ainsi les lits des oueds.

Il caractérise la lagune marine du lac Mellah et les deux autres dépressions marécageuses le lac Oubeïra et le lac Tonga ainsi que les dunes littorales par des formations sableuses.

d- Quaternaire actuel

Il est défini par les dépôts alluvionnaires (sables, cailloux....) qui constituent les lits des oueds avec des sables arables et les plages actuelles avec des sables marins. Les marécages et les garas temporaires appartiennent également au quaternaire actuel marno-argileux d'âge aquitainien à l'exception des calcaires nummulitique à l'extrême Sud- Est. Au niveau du kef Chammam des argiles sableuses du Pontien affleurent et reposent sur des bancs de grès Numidiens du Burdigalien tandis que la dépression du lac Tonga son fond est occupé par des formations lacustres quaternaires (Fig.I.17).

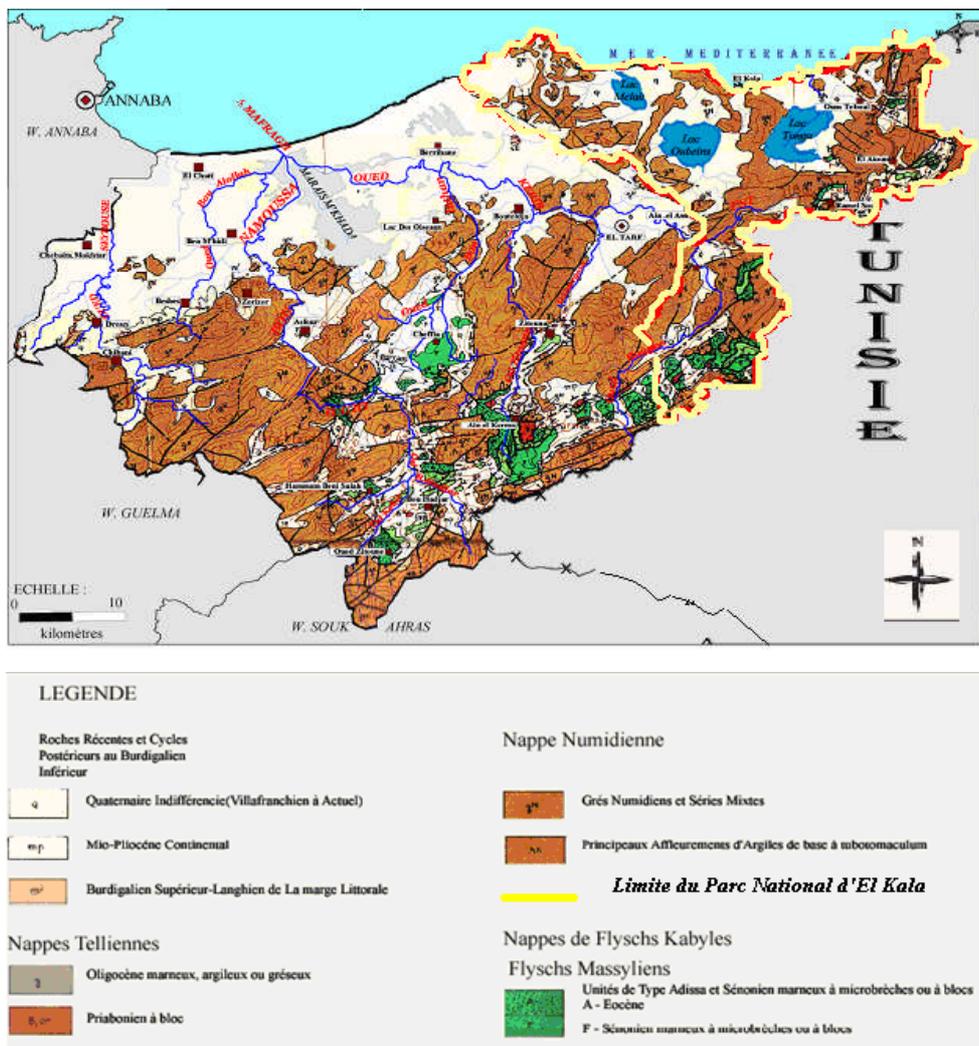


Fig.I.17 : Extrait de la carte géologique régionale de J.M.Vila(1980)

I.2.2. Aperçu Tectonique

Les anciens accidents tectoniques ont créés des subsidences comme la plaine de Annaba. La mer a pu pénétrer dans ces régions littorales pendant tout le néogène et jusqu'à l'heure actuelle (Lac Mellah).

Dans cette région la tectonique verticale post-nappes a été moins active. En effet, les grands accidents néotectoniques n'existent plus. De ce fait, seule la nappe numidienne affleure avec quelques rares fenêtres, les flyschs mauritaniens. Toutes les autres séries restent en profondeur expliquant ainsi la grande monotonie lithologique.

I.2.2.1-Interprétation des coupes géologiques

Elles ont été établies pour mieux visualiser la succession des couches géologiques.

I.2.2.1.1- Coupe Géologique dans la Plaine d'El Taref

C'est une coupe effectuée dans la plaine d'El Tarf de direction Est-West (*Fig.I.18*) ; la structure est très complexe le nummulitique représenté par la nappe numidienne constituée par les argiles d'âge Oligocène moyenne et supérieure et des grés qui sont datés de l'Aquitaniens

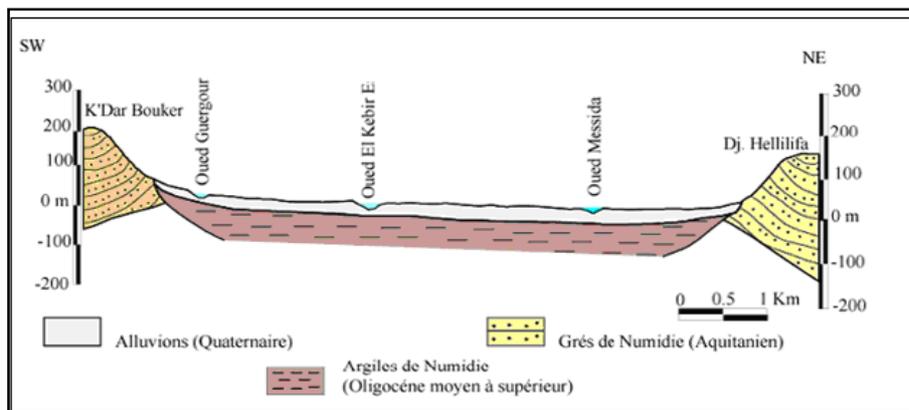


Fig.I.18 : Coupe géologique à travers la plaine d'El Taref (Sayad,2008)

Ces formations argilo-gréseuses constituent le substratum général de la plaine dont les grés forment des synclinaux perchés; alors que les argiles constituent des anticlinaux intermédiaires remplis d'alluvions d'âge Quaternaire qui sont d'intérêt hydrogéologique important.

I.2.2.1.2- Coupe Géologique dans la Plaine de Bouteldja

Elle montre une dépression entre les collines (Koudiet Echmanit) au Nord-est et (Koudiet ElMouhguen) au Sud-ouest (*Fig.I.19*).

Les reliefs sont formés par les grés numidiens et subissent le même pendage. La couverture de la dépression est constituée essentiellement par les dépôts des formations voisines ; il s'agit d'alluvions de remplissage d'âge Quaternaire.

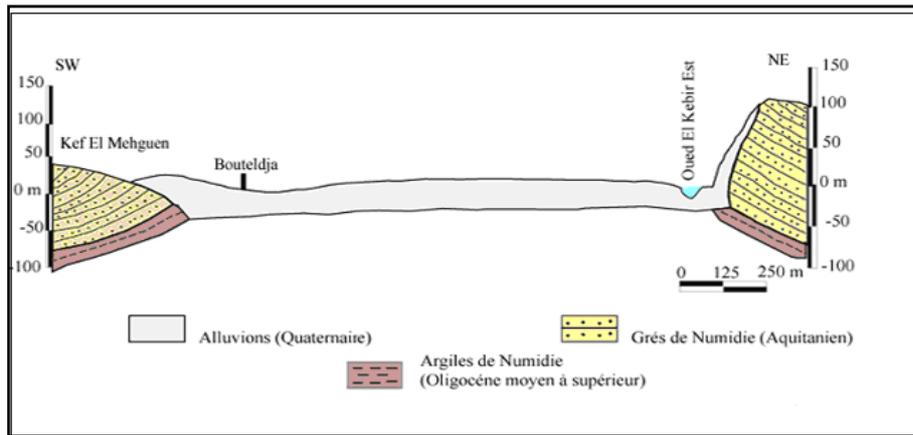


Fig.I.19 : Coupe géologique à travers la plaine de Bouteldja (Sayad,2008)

I.2.2.1.3- Coupe Géologique dans la Plaine d'Oum Teboul

Elle traverse la plaine d'Oum Teboul d'orientation West-Nord/West-Est Sud-est ; elle montre que toutes les couches géologiques reposent sur un fond marno-argileux d'âge Aquitaniens à l'exception des calcaires nummulitiques situés à l'extrême Sud-Est.(Sayad,2008)

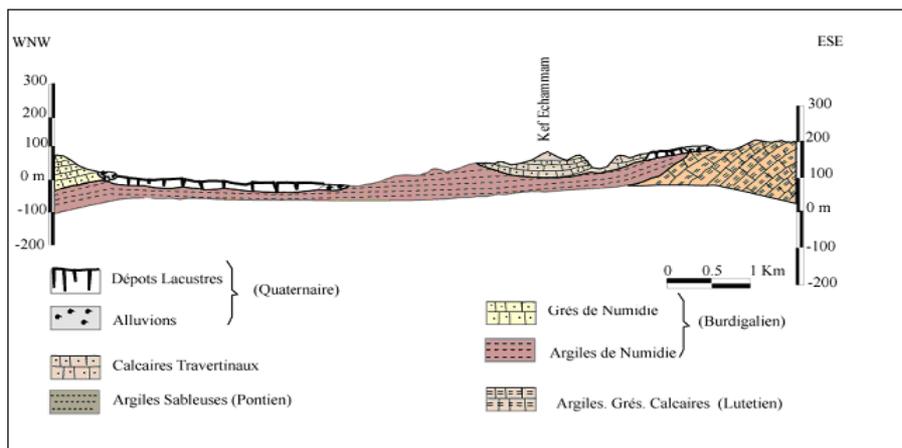


Fig.I.20 : Coupe géologique à travers la plaine d'Oum Teboul.(Sayad,2008)

Le fond du lac Tonga est occupé par des formations lacustres Quaternaires.

Au niveau de Kef Chemmam, on note l'affleurement des argiles sableuses qui reposent sur des bancs de grès numidiens respectivement d'âge Pontien et Burdigalien (Fig.I.20).

II.LA GÉOMORPHOLOGIE

II.1- Région d'Ouargla

La cuvette de Ouargla appartient au sous-bassin saharien de code 04, elle correspond à la basse vallée fossile de l'Oued M'ya. Sur le plan géomorphologique la coupe ci-dessous (Fig.I.21) permet de distinguer les unités suivantes (CORNET, 1964).

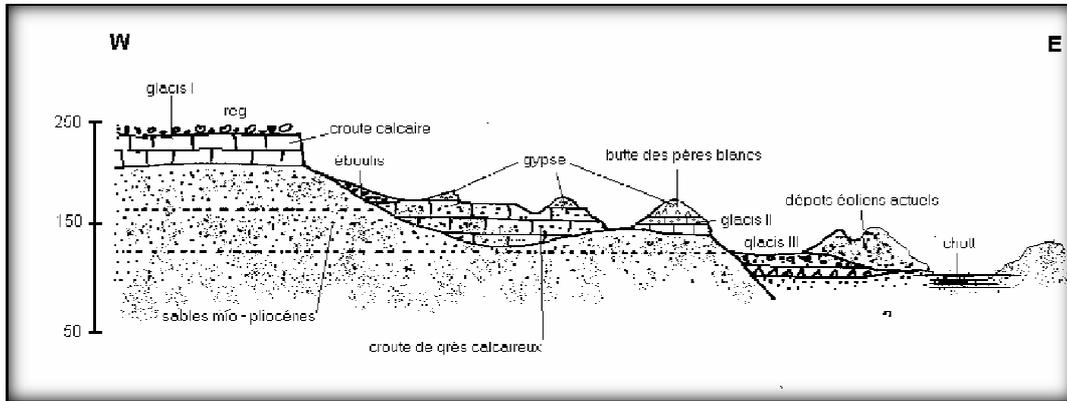


Fig.I.21: Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d'Ouargla

II.1.1- Hamada du Mio-Pliocène

Une formation continentale détritique située à l'Ouest de Ouargla, et s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Elle est fortement érodée, laissant une série de buttes témoins ou Goures.

II.1.2- Glacis

Sur le versant Ouest de la cuvette, les glacis s'étagent en quatre niveaux allant de 200 m à 140 m. les glacis dont les hauteurs varient de 180 à 160 mm sont très visibles et caractérisés par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce dernier est faible, et souvent recouverte de sables et de graviers. A l'Est de la cuvette se trouve un vaste glacis alluvial à sable grossier, de 150 m d'altitude.

II.1.3- Sebkhass et chotts

Constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond au centre de la sebkha est constitué des sols gypseux en surface. Souvent la nappe phréatique affleure en surface au centre de la sebkha. Au Nord de la ville d'Ouargla (136 m d'altitude), diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à sebkhet Safioune (103 m d'altitude).

La cuvette d'Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

Après son creusement, la cuvette d'Ouargla a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Un niveau charbonneux a été daté de – 17 000 ans. Des Oueds, descendant de la dorsale mozabite à l'Ouest (Oueds M'Zab, N'Sa, Z'gag) ou du Tadmaït (Oued Mya) au

Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour l'oued M'Zab) ou barrant la vallée (oueds N'Sa et Z'Gag au Nord de la Sebkhet Safioune).

Avec la fin du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré. L'Oued Mya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de la Sebkhet Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

II.2- Région de Taref

II.2.1- Le Relief

Le relief du Parc National d'El Kala se compose d'une juxtaposition de dépressions dont certaines sont occupées par des formations lacustres ou palustres et des hautes collines de forme variées. Ainsi, on distingue du littoral vers le sud, des formations collinaires basses (dunaires ou non) de 30 à 310 m de haut (Djebel Koursi) avec une moyenne de 100 m de haut, ces collines se prolongent sur 15 km vers le sud et s'interrompent au niveau de la vallée de l'oued Kébir, de grandes dépressions inter collinaires hébergent dans cet ensemble les principaux lacs Tonga, Oubeira et Mellah. Au Sud le relief passe en moins de 40 km de 0 à 1200 m d'altitude (Djebel Ghorra). On distingue les différentes unités morpho structurales suivantes :

II.2.1.1- Le cordon dunaire littoral

Le cordon dunaire littoral s'étend sur une longueur de 40 Km d'Ouest en Est, et se prolonge vers le Sud jusqu'au pied de Djebel Segleb, formé essentiellement de sable quaternaire. Quatre niveaux de formations dunaires peuvent être identifiés, en se dirigeant du littoral vers l'intérieur des terres :

- Les plages à sable blanc ;
- Les dunes littorales dont la partie occidentale vers Bordj Ali Bey ;
- Les dunes sub-littorales à sable gris à l'Est ;
- Les dunes intérieures à sable rouge dont la couleur est due aux dépôts de fer plus à l'Est.

Tout le système dunaire est fixé par une végétation entretenue par une ressource en eau de surface et souterraine considérable (système de nappes libres dans les dunes).

Les dunes mortes ou fixes sont les plus anciennes donc les plus éloignées du rivage. Elles sont fixées par une végétation dense (chêne Kermès, maquis ...) bien stabilisées, même en cas de destruction du couvert végétal par le feu.

Les principales dunes sont celles de Cap Rosa, de Mezira, et de la Messida.

II.2.1.2- Les plaines sub-littorales

Elles présentent un relief plat à ondulé et occupent environ 40% du territoire de la région d'El Kala. Au Nord, elles sont caractérisées par les alluvions et permettent des

cultures très variées. Au Sud, elles se réduisent à une série de petites vallées drainant les affluents d'oued Kébir-Est. Dans la partie Nord, on rencontre une multitude de cuvettes et de dépressions inter-collinaires occupées par des lacs et des étangs de toutes tailles. L'altitude ne dépasse pas les 300 mètres.

La plaine d'Oum Teboul à l'Est et celle de Boumalek à l'West sont les plus importantes. Ces dépressions en relation avec les dunes littorales présentent un intérêt hydrogéologique considérable, d'ailleurs leurs réserves alimentent en eau potable les collectivités d'Oum Teboul, El Gantra El Hamra, Boumalek...etc.

II.2.1.3. Les montagnes telliennes

Une partie du versant Nord des monts d'El Kala s'élève pour atteindre une altitude moyenne de 1100 mètres. Les monts, dont les lignes de crêtes sont approximativement orientées Ouest, Sud-Ouest – Est, Nord-Est, ont subi des phénomènes de torsion qui ont brutalement changé leur direction générale vers le Nord-Est. Des prolongements vers la mer de ce mouvement du relief sont observés en deux points particuliers : le Cap Rosa et le Cap Segleb.

En effet, le relief se caractérise par un pendage important : 09% de pentes faibles, 11% moyennes, 80% fortes à très fortes, ce qui constitue exceptionnellement un paysage montagneux fortement parcouru par un réseau hydrographique bien développé en altitude pour acheminer ses eaux vers le domaine des plaines au Nord (Fig.I.22).

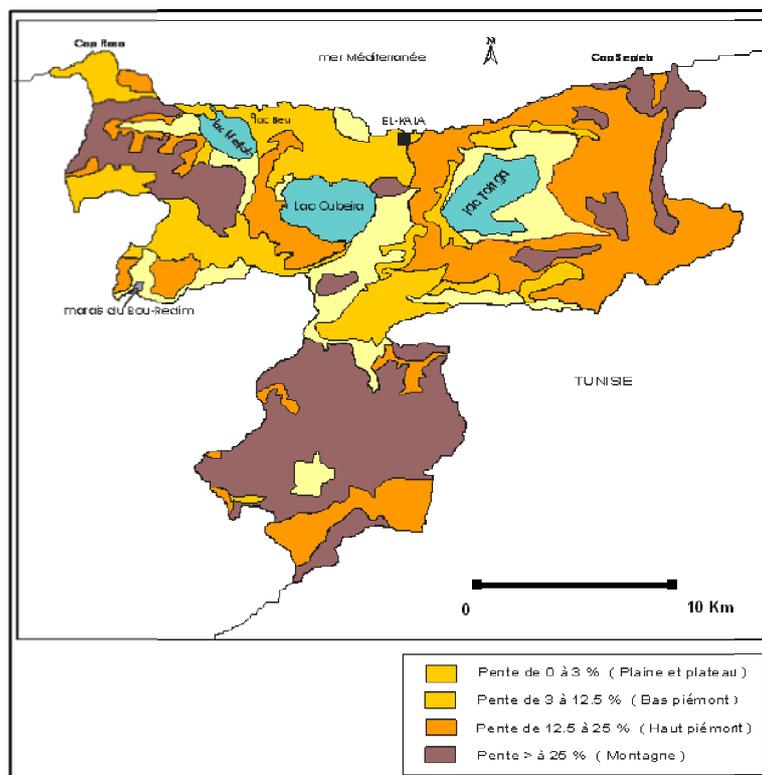


Fig.I.22: carte des pentes de la région d'El-Kala

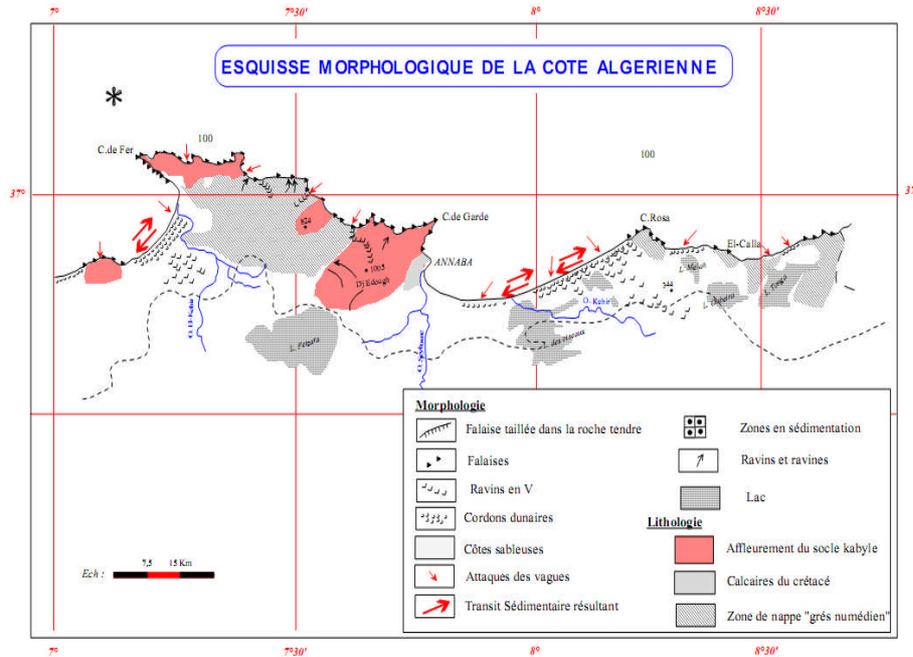


Fig.I.23 : Esquisse morphologique du secteur El Kala-Annaba (Boutiba in Grimes et al, 2004).

III. Conclusion

Les logs de forages de la région de Ouargla, et les coupes géologiques qui ont été établis, nous ont permis de préciser les formations litho-stratigraphiques présentes sur la région de Ouargla, il s'agit :

- Du secondaire, avec les formations allant de l'Aptien jusqu'au Sénonien;
- Du tertiaire, allant de l'Eocène inférieur jusqu'au Mio-Pliocène constituant les formations du complexe terminal;
- Et enfin du quaternaire qui est constitué d'un matériau détritique et de sables éoliens.

L'étude géologique de la région de El-Kala a permis d'envisager la prédominance de deux grands ensembles morphostructuraux :

- La nappe numidienne : caractérisée par la succession croissante d'argiles sous numidiennes, grès numidien et des argiles supra numidiennes et qui longe tous les monts et collines de la région.
- Les formations récentes d'âge Quaternaire qui remplissent les bas fonds des collines et les zones plates.

Du point de vue hydrogéologique, les zones aquifères se localisent évidemment dans les formations récentes.

Chapitre III

Ressources en eau

CHAPITRE III

RESSOURCES EN EAU

I. HYDROCLIMATOLOGIE

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère : l'humidité, la pluie, la température, le vent, etc. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe à l'exception de cas particuliers. C'est un facteur déterminant pour le développement des plantes, la formation et l'évolution des sols. Ces principales composantes ont une influence importante sur l'érosion (Jacques Gréco, 1966).

Sur le territoire national, on distingue quatre grandes zones climatiques entre ses deux limites extrêmes (La mer et le désert) :

- La zone littorale : à climat chaud et humide. Elle s'étend sur la zone côtière.
- La zone des montagnes telliennes : Elle est tempérée sur ses versants Nord et froide et fraîche sur les versants Sud et en altitude.
- La zone des hauts plateaux et des hautes plaines : Elle est sèche et aride, caractérisée par des extrêmes, et marquée par des froids rigoureux et des chaleurs excessives.
- La zone saharienne : Elle se distingue par des pluies rares et irrégulières (Kadik, 1986).

I.1- La région d'Ouargla

Le climat de la région d'Ouargla est particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en Été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. Ces paramètres hydroclimatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

La zone d'étude appartient au grand bassin d'Oued Mya, qui est caractérisé par un climat désertique. Pour cette étude, les séries des données, qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatique, ont été enregistrées à la station pluviométrique d'Ouargla gérée par l'office national de météorologie (ONM).

Pour cette étude, les séries des données, qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatiques, ont été enregistrées à la station pluviométrique d'Ouargla.

Tableau n° I.06: Les coordonnées de la station de mesure

Station	Altitude en (m)	Coordonnées	
Ouargla	136	X : 05° 19' 22"	Y : 31° 57' 17"

I.1.1- LES FACTEURS CLIMATIQUES

I.1.1.1- La température

C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région. L'analyse des températures sera faite à partir des données recueillies de l'ONM - Ouargla période (1978-2009). La température moyenne annuelle pour un climat aride comme celui d'Ouargla, n'a pas une grande signification. Les plus intéressantes sont les températures moyennes mensuelles et les amplitudes thermiques. Les valeurs moyennes enregistrées pendant les 32 dernières années, présentent une légère constance de 22.86°C. Cependant, ces valeurs cachent des valeurs mensuelles "dispersées", (ex : de 11.63°C en Janvier à 34.59°C en Juillet, soit 22.95°C de différence thermique entre les deux mois) (Fig.I.24).

Le tableau ci-dessous (Tableau n°I.07) récapitule les températures moyennes mensuelles.

Tableau n° I.07 : Températures moyennes mensuelles en °C (Station d'Ouargla, 1978-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T moy (°C)	29.81	23.54	16.48	12.18	11.63	13.79	17.34	21.66	26.68	32.33	34.59	34.31

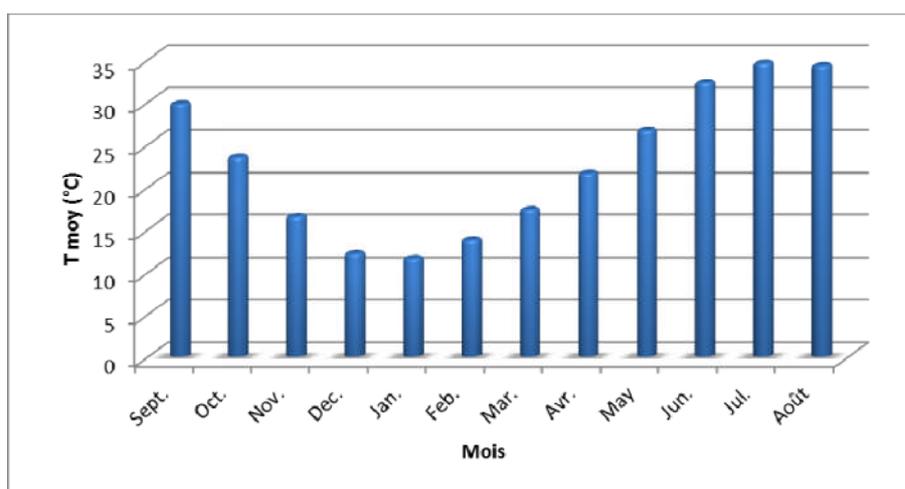


Fig.I.24: Moyenne des températures exprimée en degrés Celsius (Station d'Ouargla, 1978-2009)

I.1.1.2- L'humidité de l'air

Le degré hydrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression.

Nous avons indiqué dans le tableau ci-dessous (Tableau n° I.08) la moyenne mensuelle de l'humidité mesurée à Ouargla (période 1990 – 2009).

Tableau n° I.08: Humidité moyenne mensuelle de l'air exprimé en % (Station de Ouargla, 1990-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
H (moy) %	37.269	48.174	57.853	61.233	63.955	55.2	45.455	38.943	33.848	27.425	28.045	29.081

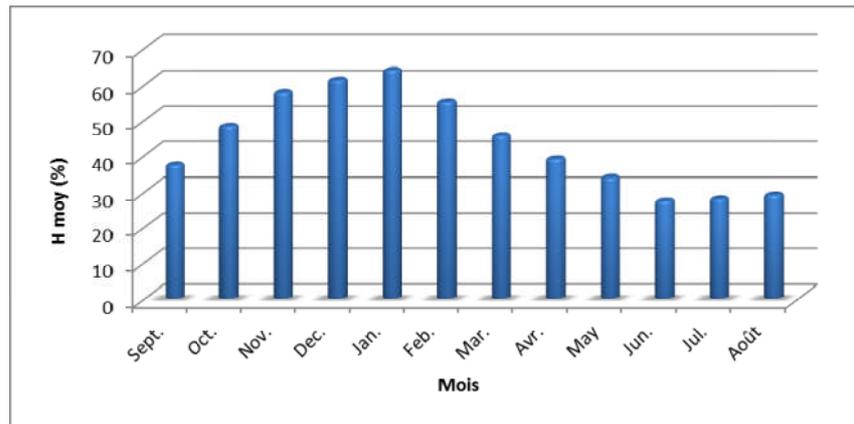


Fig.I.25 : Variation des Humidités moyennes mensuelles (Station d’Ouargla, 1990-2009)

On relève que l'humidité est faible dans l'ensemble de l'ère d'étude. Ceci est dû notamment au fait que la température de l'air en augmentant suite à l'importance de l'insolation, fait accroître la capacité de contenance en eau de l'air (Fig.I.25).

Les valeurs -non homogènes- enregistrées ont une variation mensuelle inversement proportionnelle à la température car on observe des valeurs maximales pendant la période de Novembre à Janvier et des valeurs minimales durant la période de Juin à Août.

Toute fois, il peut arriver que cette règle ne soit pas respectée notamment lors de pluies, d'un temps couvert ou de vent fort.

I.1.1.3- L'insolation

Il s'agit de l'insolation effective c'est-à-dire de la période en heures durant laquelle le soleil a brillé (Tableau n° I.09).

Tableau n° I.09: Durée d'insolation moyenne mensuelle exprimée en heure (Station d’Ouargla, 1990-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Insolation moyenne (heures)	225.63	233.13	203.68	181.27	200.64	203.83	240.95	267.93	267.78	307.16	317.08	315.75

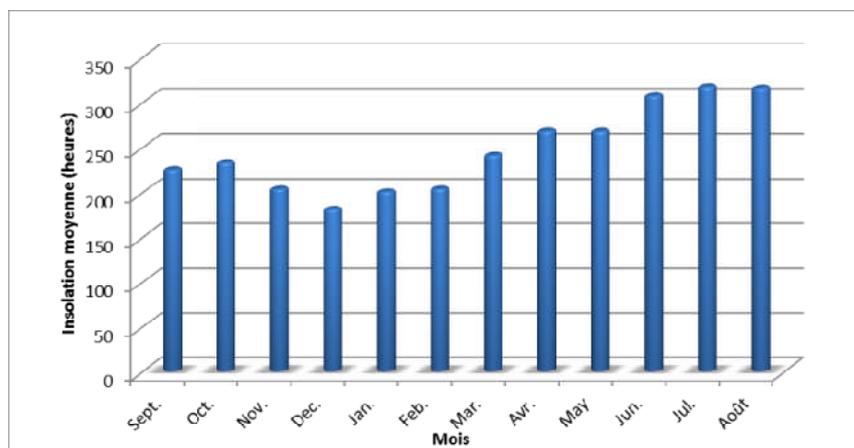


Fig.I.26 : Variation d'insolations moyennes mensuelles (Station d’Ouargla, 1990-2009)

La variation annuelle de l'insolation concorde avec celle de la nébulosité, elle est de type méditerranéen présentant un maximum estival. Cependant, il existe plusieurs variations annuelles dues aux petits accidents météorologiques provoqués par des points nuageux.

La vallée d'Ouargla reçoit une quantité de la lumière solaire relativement très forte, le maximum est atteint au mois Juillet avec une durée 317.08 heures de l'insolation et minimum au mois Décembre avec une durée de 181.27 heures (Fig.I.26).

I.1.1.4- Le vent

Nous pouvons dire que le vent c'est le paramètre climatique le plus régulier dans la région de Ouargla. Il est déterminé par sa direction et sa vitesse (Tableau n° I.10).

Tableau n° I.10: Vitesse moyenne mensuelle des vents exprimée en m/s (Station de Ouargla, 1990-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse Moy (m/s)	4.17	3.53	2.76	2.67	2.77	2.99	3.93	4.55	4.79	4.86	4.36	3.99

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril à Juillet avec un maximum de 4,86 m/s en Juin, tandis que le reste des mois on a une vitesse faible (2,67 m/s en décembre) (Fig.I.27).

Généralement, les vents les plus fréquents sont ceux qui ont une direction S-N et SO-NE, tandis que les vents dirigés vers le Sud et le Sud-Ouest ne dominent qu'au mois de Janvier. On peut penser que l'orientation grossièrement N-S de la vallée joue un rôle dans la direction des vents. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3.78 m/s.

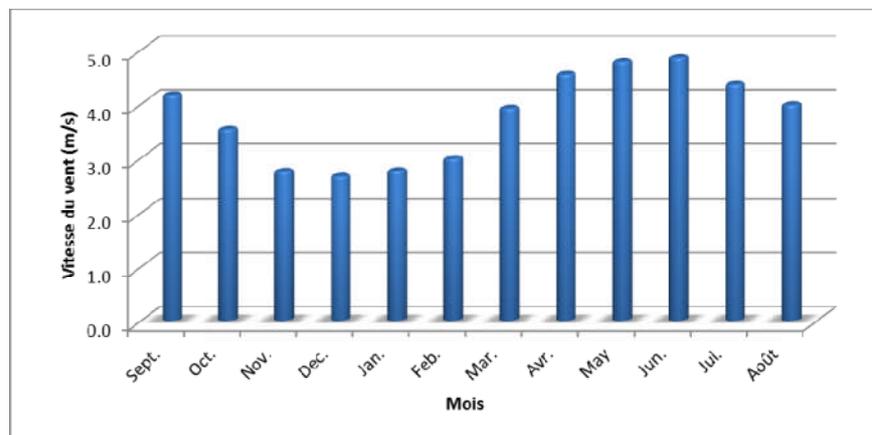


Fig.I.27 : Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (Station d'Ouargla, 1990-2009)

I.1.1.5- La pluviométrie

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien.

I.1.1.5.1- La pluviométrie moyenne annuelle

Sur une période de 32 ans (1978 – 2009), on a calculé la moyenne annuelle des précipitations, elle est de 31.92 mm. On remarque que le mois le plus pluvieux est Mars

(5.8 mm) et celui le plus sec est Juillet (0.05 mm). D’après la carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara (Fig.1.28), la station d’Ouargla était entre les courbes de 45mm et 60mm, alors que la moyenne est nettement inférieure à 32 mm.

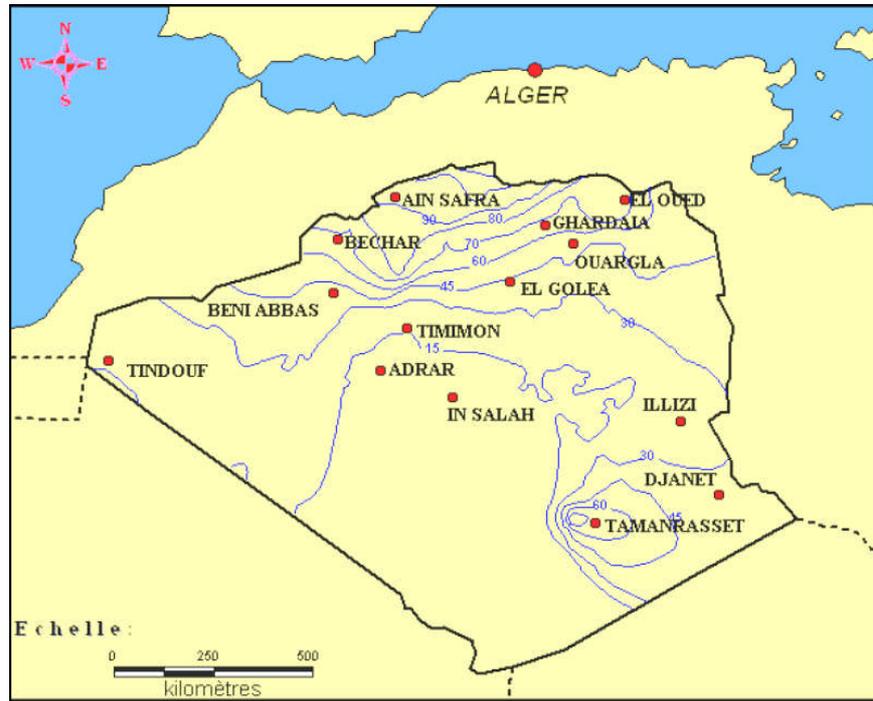


Fig.1.28 : Carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara algérien
Cahiers de sécheresse, N°: 1/98

I.1.1.5.2- La pluviométrie mensuelle

Le tableau (Tableau n° I.11) et la figure ci-dessous montre la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.

Tableau n° I.11: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en (mm) (Station de Ouargla, 1978-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moy. (mm))	2.23	4.76	4.59	3.01	4.40	2.28	5.42	2.18	2.28	0.53	0.05	0.19

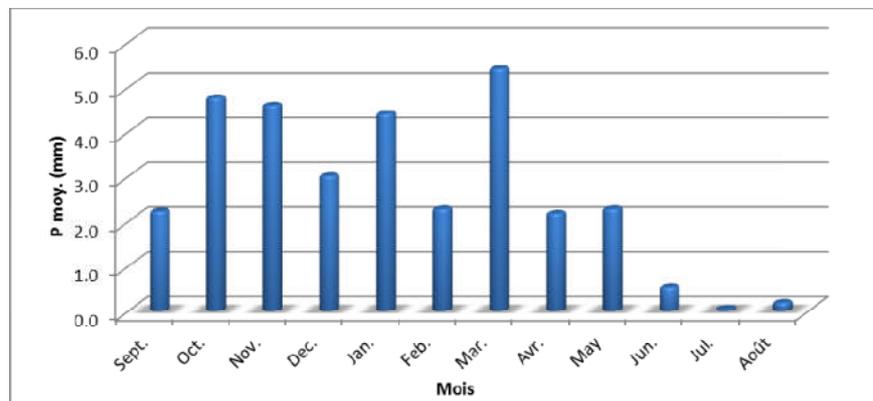


Fig. I.29: Variation des précipitations moyennes mensuelles
(Station d’Ouargla, 1978-2009)

On remarque une grande irrégularité de la pluie; faible pendant l'Hiver et presque nulle en Été. Leur provenance en Hiver est due aux dépressions accompagnants la migration vers le Sud des fronts polaires, en Été elles sont dues aux dépressions de mousson, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano-Sahariennes du Sud vers le Nord (Dubief, 1963) (Fig.I.29).

En règle générale les pluies sont d'intensité plutôt faible pour la région.

I.1.1.6- l'évaporation

Pour voir l'évolution de l'évaporation dans le temps on a pris les résultats des mesures à la station d'Ouargla pour la période 1990-2008, Le tableau ci-dessous (Tableau n° I.12) montre la variation de l'évaporation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla pendant 19 ans(Fig.I.30).

On remarque que les valeurs maximales caractérisent les mois d'Eté c'est-à-dire les mois les plus chauds ou la température est très élevée surtout le mois de Juillet (34.59 C°) ou l'évaporation très forte (381.17 mm). L'évaporation annuelle est de 2829.70 mm.

Tableau n° I.12: variations de l'évaporation moyenne mensuelle (Station de Ouargla, 1990-2008)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Evap (mm)	275,66	209,52	141,51	125,71	108,28	143,64	189,73	267,74	268,85	346,19	381,17	371,71

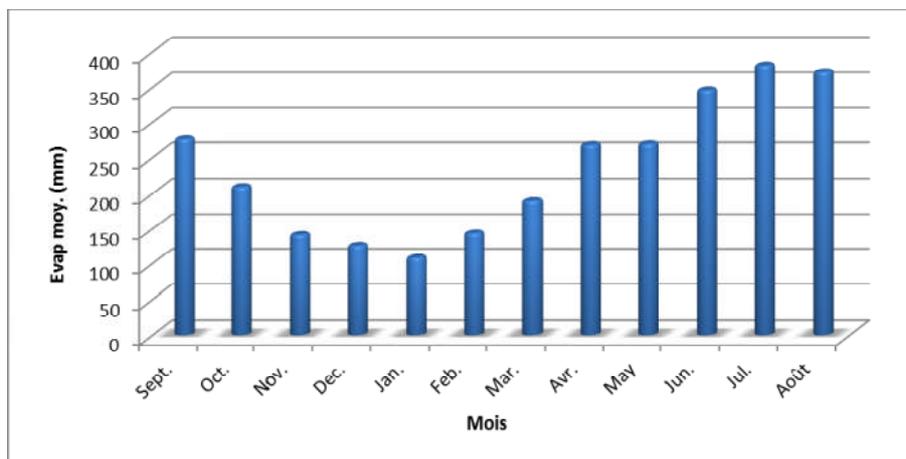


Fig.I.30 : Variation d'évaporations moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1990-2009)

I.1.2- INDICE D'ARIDITE DE DEMARTONNE

D'après DEMARTONNE l'indice de l'aridité est exprimé comme suit :

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

Avec :

P : les précipitations moyennes annuelles.

T : la température moyenne annuelle.

Pour les valeurs de I comprises entre 0 et 5 se trouve le milieu est considéré comme Hyperaride.

$$I = \frac{6.46}{21.62 + 10} = 0.20$$

Tableau n° I.13 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE

Valeur de l'indice	Type de climat
00 < I < 05	<u>Hyperaride</u>
05 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi-aride
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 55	Humide

I.1.3- DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE DE GAUSSEN

Selon la définition de Gausсен, une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois.

En traçant le diagramme (Fig.I.31) pluvio-thermique dans lequel la température est portée à l'échelle double de la précipitation, nous avons trouvé la période sèche s'étalant sur 10 mois du mois de Mars jusqu'au mois de Décembre. (Sellama.A, 1998)

Cette courbe nous permet la connaissance de la période sèche pour laquelle on note un manque d'eau, c'est-à-dire la période déficitaire en eau.

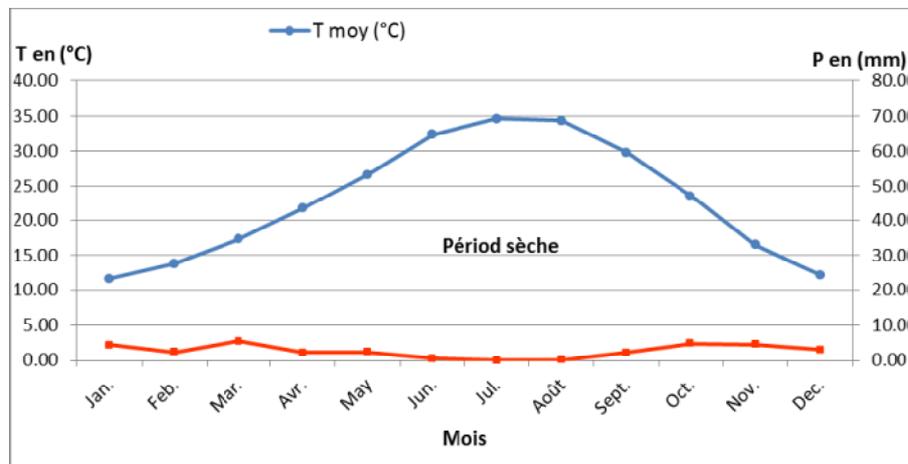


Fig.I.31 : Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN (Ouargla, période de 1978-2009)

I.1.4- LE BILAN D'EAU

I.1.4.1- Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle :

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul : l'évapotranspiration.

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (E.T) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique). On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (E.T.P)
- L'évapotranspiration réelle (E.T.R)

a) L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de Thornthwaite qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et, l'évapotranspiration mensuelle, cet auteur définit d'abord un indice thermique mensuel (i), où :

$$i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.5} \quad I = \sum_1^{12} i \quad a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

$$ETP = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a k$$

Avec: ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.
 T : Température moyenne mensuelle en °C
 i : Indice thermique mensuel.
 I : Indice thermique annuel.
 K : Coefficient d'ajustement.

b) L'évapotranspiration réelle (ETR) :

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) : nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les formules suivantes :

-Formule de Thornthwaite.

-Formule de Turc.

- Formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16(10T/I)^a f(\lambda)$$

Avec : **ETP** : évapotranspiration potentielle non corrigée mensuelle (mm)
I : indice thermique annuel = \sum i des 12 mois précédent (mémoire thermique) avec l'indice mensuel
 $i = (T/5)^{1.514}$
T : température moyenne mensuelle (°C)
a : coefficient fonction de I = $(1.6/100) I + 0.5$
f(λ) : facteur fonction de la latitude et de la saison, donné par des tables.

Cette formule est bien adaptée au climat à précipitations réguliers (océanique, équatorial), mais ne convient pas aux climats à saison sèche marquée.

$$ETPc = ETP \times f(\lambda)$$

Où : **ETPc** : évapotranspiration potentielle corrigée

- Formule de Turc :

La formule de L. Turc permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne et tenant compte de la durée réelle de l'insolation.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2 / L^2}} \quad \text{Avec : } L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Températures moyennes annuelles (°C)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand

1.1.4.2- Bilan de Thornthwaite

Pour établir le bilan hydrique il faut d'abord calculer la RFU qui est la réserve facilement utilisable. Cette RFU est nécessaire pour le bon fonctionnement physiologique des plantes

A partir des données des pluies mensuelles et l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite, plusieurs cas peuvent être envisagés:

- 1- Si : $P > ETP$ $ETR = ETP$ $RFU = P - ETP$
- 2- Si : $P = ETP$ les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de surplus pour alimenter la RFU [$RFU = 0$]
- 3- Si : $P < ETP$ il y aura un épuisement des réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan ($ETP - ETR$), ou encore ($P - ETP$) qui représentera la quantité d'eau qu'il faudra ajouter à l'ETR pour atteindre l'ETP

Les résultats de calculs sont mentionnés dans le tableau 15

Tableau n°1.14: Bilan Hydrique de la région d'Ouargla

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
T (moy)	29.81	23.54	16.48	12.18	11.63	13.79	17.34	21.66	26.68	32.33	34.59	34.31	22.86
P (mm)	2.23	4.76	4.59	3.01	4.40	2.28	5.42	2.18	2.28	0.53	0.05	0.19	31.92
i	14.93	10.44	6.09	3.85	3.59	4.64	6.57	9.20	12.62	16.88	18.69	18.47	
I	125,97												
a	2,51												
f(λ)	1,03	0,98	0,88	0,87	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	
ETP	139.01	76.87	31.41	14.71	13.10	20.06	35.66	62.37	105.25	170.46	201.86	197.86	1068.62
ETPc	143.18	68.42	27.64	11.48	11.66	17.25	36.73	67.36	125.25	202.85	244.25	227.53	1324,6
ETPc – P	143.1	68.42	27.64	11.48	11.66	17.25	36.73	67.36	125.2	202.8	244.2	227.5	1183.59
ETR	2.23	4.76	4.59	3.01	4.40	2.28	5.42	2.18	2.28	0.53	0.05	0.19	31.92
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DA	143.1	68.42	27.64	11.48	11.66	17.25	36.73	67.36	125.2	202.8	244.2	227.5	1183.59
EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

D’après les résultats et les calculs, le bilan est nettement déficitaire sur la totalité de l’année hydrologique.

I.2- La région d'El-Kala

Le climat est un facteur abiotique important dans l’étude de la typologie et le fonctionnement d’un milieu naturel (Fustec et Lefeuvre, 2000), il nous permet de déterminer les composants et les caractéristiques de ce dernier.

Lors de l’élaboration de cette étude hydro climatique, on s’est basé sur les données climatiques de la station Bouteldja (El Tarf) (Tab n°I.15), couvrant une période d’observation de 26ans.

Tableau n°I.15: Caractéristiques de station de mesure.

Station	Altitude en (m)	Coordonnées	
Bouteldja	136	X : 991.200	Y : 401.550

I.2.1- LES FACTEURS CLIMATIQUES

I.2.1.1- Les températures

Les données récoltées aux même stations de mesures, nous donnent un schème opposé à celui des précipitations .La variation de l’allure de la courbe prend cependant la forme d’un (U) ou les minimum sont enregistrées pendant les mois de Décembre et de Janvier et les maximum sont alors notes pendant les mois de Juillet et d’Août (Fig.I.32).

Tableau n°I.16: Températures moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T moy (°C)	23,4	19,9	16,8	12,8	11,8	12,5	13,1	14,5	18,2	22,2	24,7	25,9

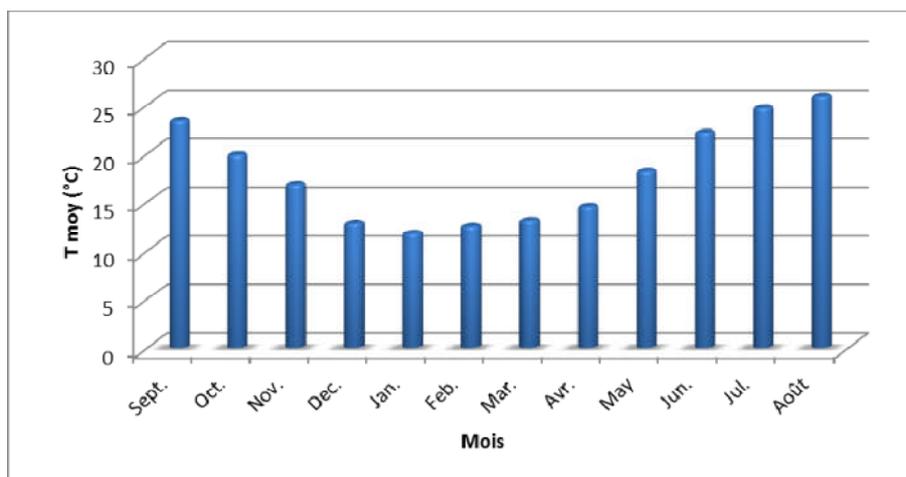


Fig.I.32 : Variation des températures moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)

I.2.1.2- L’humidité

Ce paramètre est remarquablement particulier pour la région (Tableau n°I.17). Les formations marécageuses et lacustres, la proximité de la mer et la présence d’une

couverture forestière intense entretiennent une humidité considérable dont le maximum est atteint au mois de Janvier avec 78.7 % et une moyenne mensuelle de 74.43%(Fig.I.33).

Tableau n°I.17: Tableau: Humidité moyenne mensuelle (Station de Bouteldja, 1980-2005)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
H (moy) %	73,5	74,6	75,9	77	78,7	75,2	74,2	74,5	74,9	72,8	69,9	71,9

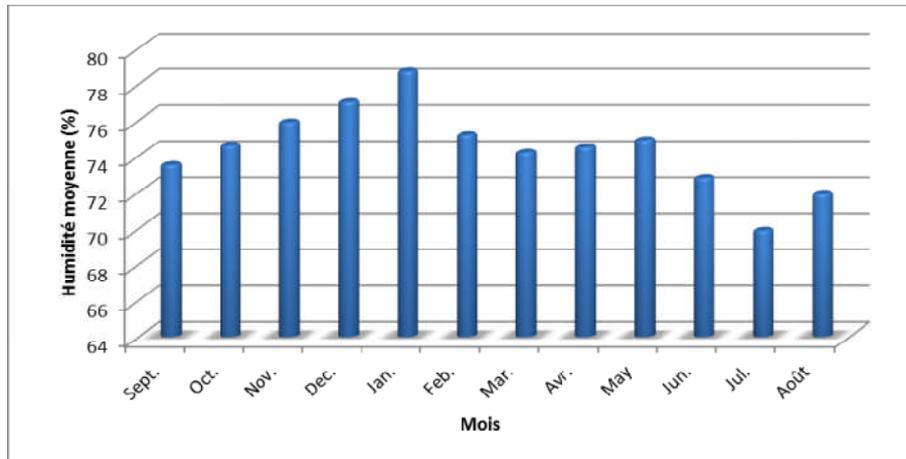


Fig. I.33 : Variation des Humidités moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)

I.2.1.3- Le vent

Les vents dominant du Nord-Ouest .avec une vitesse moyenne de 3.35 m/s (Fig.I.34), véhiculent les précipitations les plus importantes venues de l’atlantique, a l’oppose les vents Sud-Est (le Sirocco) assèchent l’atmosphère et favorise avec les températures élevées les incendies de forêts.

Tableau n°I.18: Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station de Bouteldja, 1980-2005)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse Moy (m/s)	3,2	3,01	3,2	3,62	3,46	3,51	3,5	3,4	3,24	3,23	3,44	3,35

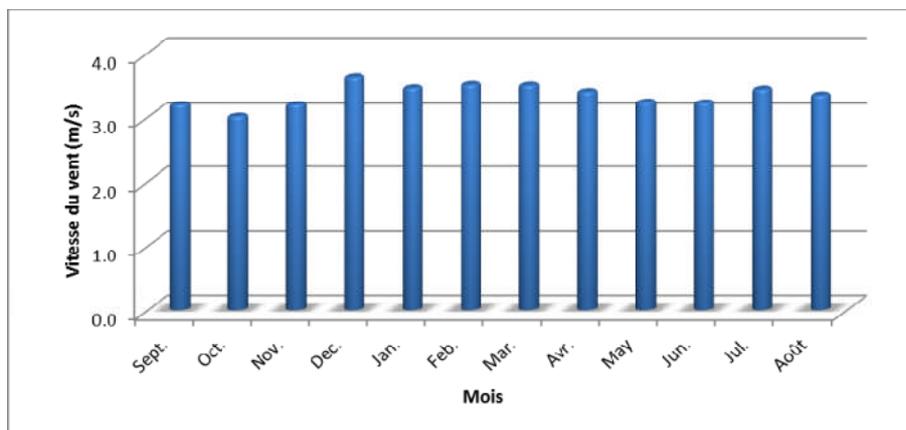


Fig.I.34 : Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (Station de Bouteldja, 1980-2005)

I.2.1.4- Les précipitations

2.1.4.1- Les précipitations moyennes mensuelles :

La précipitation moyenne mensuelle permet d’avoir une idée sur la variation mensuelles et pluriannuelles des précipitations, elle est le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considère sur période d’années (Fig. I.35).

Tableau n°I.19: précipitations moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moy. (mm)	43,7	70	106	118,9	105,2	80,3	66,3	67,5	34,9	18,7	2,15	7,08

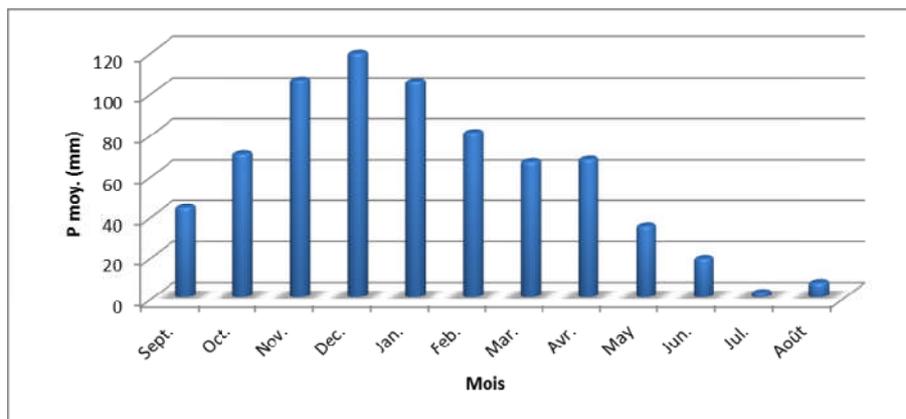


Fig. I.35 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)

I.2.2- L'INDICE DE MARTONE :

D'après DEMARTONNE l'indice de l'aridité est exprimé comme suit :

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

- Avec : **P** : Les précipitations moyennes annuelles.
T : La température moyenne annuelle.

Tableau n°I.20 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE

Valeur de l'indice	Type de climat
0 < I < 5	Hyper-aride
5 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi-aride
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 55	Humide

Station \ paramètre	P (mm)	T (°c)	I
Bouteldja	720.73	18	25.75

Pour les valeurs de I comprises entre 20 et 30 se trouve le milieu est considéré comme Semi-humide

I.2.3- DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE DE GAUSSEN

D'après le diagramme (Fig.1.36) on peut déduire deux saisons bien distinctes :

- Une saison humide, caractérisée par des précipitations relativement élevées 118,9 mm et qui s'étale du la fin de mois de Septembre jusqu'au début de mois de Mai.
- Une saison sèche et chaude qui s'étend du début du mois de Mai jusqu'au début du mois d'Octobre avec une température maximale de 25,9°C.

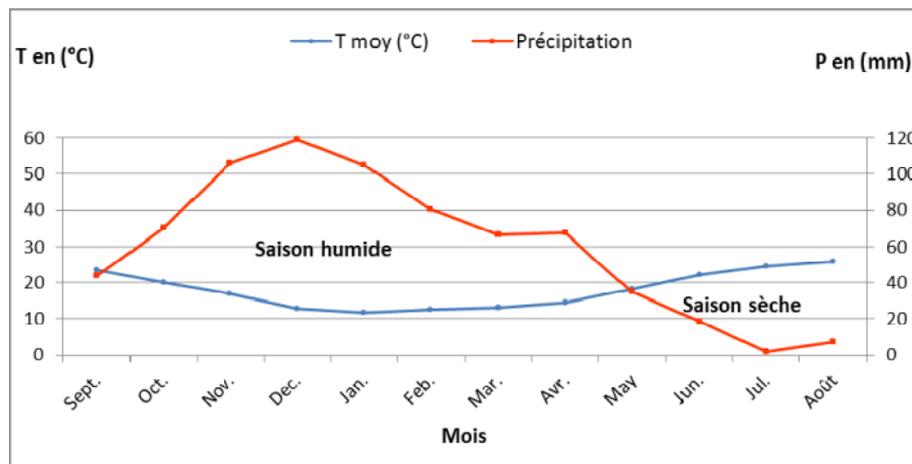


Fig.1.36 : Diagramme pluviothermique de GAUSSEN
(Station de Bouteldja, 1980-2005)

I.2.4- LE BILAN D'EAU

La connaissance du bilan hydrique dans une zone humide est la condition première pour évaluer ses capacités réelles de régulation des flux d'azote (Fustec et Le feuvre,2000).

L'établissement du bilan hydrique d'un écosystème lacustre nécessite l'évaluation de trois composantes : les évapotranspirations, les ruissellements et les infiltrations.

L'évapotranspiration est le plus important des paramètres qui représente la quantité d'eau restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que les précipitations tombées dans le bassin versant la nature du sol et de la couverture végétale et elle englobe deux processus :

- L'un Biologique et l'autre;

I.2.4.1- Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle :

a) L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons appliqué la formule de Thorntwaite comme suit :

$$ETP = 16 (10 T/I)^a K$$

Avec:

$$I = (T/5)^{1.5} \quad I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$a = 1.6 I/100 + 0.5$$

ETP : l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm

T : température moyenne mensuelle en °C

i : indice thermique mensuelle

I : indice thermique annuelle

K : coefficient d'ajustement, représentant la durée moyenne possible d'insolation exprimée en unités correspondant à un mois de 30 jours de 12heures chacun.

b) Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Formule de Turc

$$= \frac{L}{L + P}$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P : précipitation moyenne annuelle en mm

L : Pouvoir évaporant de l'atmosphère

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

T : température moyenne annuelle en °C

1.2.4.2- Bilan Hydrique par la méthode de Thorntwaite

L'établissement du bilan hydrique par la méthode de Thorntwaite a pour but d'évaluer les différents paramètres (ETP, RFU, ETR, DA, EXC) qui nous aide a comprendre le fonctionnement hydrologique et son influence sur notre écosystème lacustre.

Nous avons choisi le type de réserve facilement utilisable (RFU =100mm),la plus généralise en Algérie (Halimi,1980).

Le bilan hydrique de la zone d'étude établi par la méthode de (Thorntwaite, 1948) permet de ressortir les traits suivants :

- l'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois d'août pour, 154.65 mm, et elle minime au mois de Janvier 21.79 mm à Bouteldja
- l'évapotranspiration réelle (ETR) sa valeur estimée par Thorntwaite
- La réserve facilement utilisable (RFU) commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre son maximum (100 mm) au mois de Décembre jusqu' 'au mois d'Avril.

La RFU décroît à partir du mois de Mai jusqu'a l'épuisement totale au mois de Juin d'où l'apparition du déficit agricole (DA) qui s'étale jusqu'à la fin du mois d'Octobre.

- l'excédent (EXC) avec de moyenne mensuelle de 241.8m.
- le déficit agricole (DA) : l'épuisement de la réserve s'annonce au mois de Juin et atteint son maximum au mois d'Août.

I.2.4.3- Le Ruissellement (R) :

Il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre » (Leclerc, 1992). La part des précipitations qui va ruisselée dépend de l'intensité de la pluie, de la pente du terrain et de l'humidité initiale du sol ainsi que de la couverture végétale. Le ruissellement peut être déterminé avec précision à partir de la formule de Tixeront-Bercalof (Tab n°I.21):

$$\text{Si } P < 600 \text{ mm : } R = P^3 / 3 \text{ (ETP)}^2$$

$$P > 600 \text{ mm : } R = P^3 / 3$$

Pour notre région d'étude les précipitations annuelles sont toujours supérieur a 600mm, ce qui implique l'application de la deuxième formule.

Tableau n°I.21 : Le Ruissellement selon la formule Tixeront-Bercalof

Paramètres / Station	Bouteldja
P (m)	0.72073
R (m)	0.1248

I.2.4.4- L'infiltration efficace (Ic) :

L'équation du bilan hydrologique permet de calculer l'infiltration efficace :

$$P = ETR + R + I_c$$

$$\text{D'où : } I_c = P - (ETR + R)$$

Avec : P : précipitation moyenne annuelle en mm/an
 ETR : évapotranspiration moyenne annuelle en mm/an
 R : ruissellement annuel mm/an
 Ic : infiltration efficace en mm/an

Tableau n°I.22: Valeurs de l'infiltration efficace

Station/Paramètre	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I _c (mm)
Bouteldja	720.73	478.39	124.8	242.34

Tableau n°I.23 : Bilan Hydrique de la région d'El Taref

Paramètre/ Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
P(mm)	43,7	70	106	118,9	105,2	80,3	66,3	67,5	34,9	18,7	2,15	7,08	720,73
T(°c)	23,4	19,9	16,8	12,8	11,8	12,5	13,1	14,5	18,2	22,2	24,7	25,9	17,98
I	10,1	7,94	6,15	4,09	3,62	3,95	4,24	4,93	6,94	9,35	10,97	11,78	84,08
K	1,05	0,94	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	12,38
ETP(mm)	110	71,05	42,9	24,26	21,97	25,88	36,9	50,15	87,45	127	154,6	157,24	909,8
ETPc (mm)	115,5	66,78	32,17	16,98	16,04	20,18	37,64	57,67	115,43	168,91	205,62	194,97	
RFU(mm)	0	0	63,7	100	100	100	100	100	47,05	0	0	0	-
ETR(mm)	43,7	70	42,9	24,26	21,79	25,88	36,9	50,15	87,45	66,15	2,15	7,08	437,39
EXD(mm)	0	0	0	57,76	83,41	54,42	29,4	17,35	0	0	0	0	241,8
DA(mm)	67,8	1,05	0	0	0	0	0	0	0	60,85	152,4	148,84	430,94

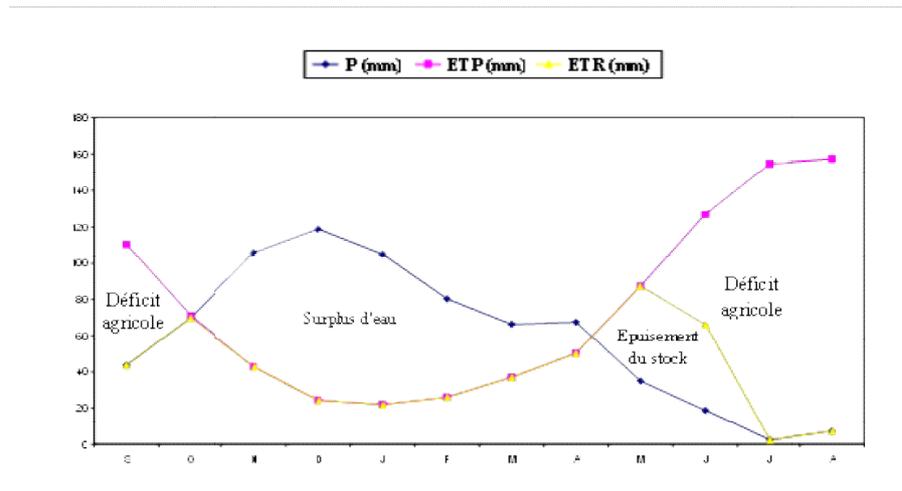


Fig. I.37: Bilan hydrique (Thorntwaite) dans la station Bouteldja 1980-2005

II. HYDROLOGIE DE SURFACE

II.1- La région d'Ouargla

II.1.1- Les surfaces d'eau

Les eaux stagnantes dans les bassins endoréique dans la région de Ouargla jouent un rôle prépondérant dans l'hydrologie de la région, elles forment, en effet, dans cette région, de nombreux chott et sebkas temporaires ou permanent (sebkhet Oum Raneb et chott Ain Beida).

- Le chott d'Ain Beida est une dépression large, sa longueur est de 3,5 Km, son altitude varie entre 138 et 140 m, sa largeur varie de 1 à 1,5 Km. Sa superficie actuelle est d'environ 1000 hectares.
- La sebkha d'Oum Raneb est une zone humide, Sa superficie varie de 900 à 1400 hectares en fonction du niveau de l'eau.

II.1.2- Le réseau hydrographique

L'hydrographie de la cuvette de Ouargla se caractérise par son endoréisme (Dubief, 1953) différents bassins versants (Mya, M'zab, N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutis à sebkhet Safioune au Nord de la cuvette de Ouargla. Le ruissellement est en fait insignifiant, (Hamdi-Aïssa, 2001).

II.1.2.1- Oued Mya:

Il draine le versant Nord-Est du plateau de Tademaït. Le bassin de l'Oued Mya est en forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-Est, il s'étend sur 19 800 Km². Le cours fossile de l'Oued Mya inférieur est jalonné par de vastes sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 Km environ du point extrême atteint par les dernières crues. Au Nord de Ouargla, la vallée n'est plus discernable. Si l'on admet cependant que l'Oued Mya quaternaire se jetait le chott Melrhir actuel, sa longueur devait atteindre 900 Km (Dubief, 1953).

Avec la fin de la dernière grande période pluviale, le lac s'est retiré. L'Oued Mya n'a pas pu qu'épisodiquement de couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours

étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de sebkhet Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse. Actuellement les grandes crues de l'Oued Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont d'Ouargla (Fig.I.38).

II.1.2.2- Oued N'sa et M'zab

Les deux Oueds N'sa et M'zab aboutissent à la cuvette de Ouargla, ils sont fonctionnels, ils peuvent avoir une ou deux crues par an et ils n'atteignent la cuvette que lorsque la crue est importante, Ils coulent donc de l'Ouest vers l'Est –Sud-Est jusqu'à sebkhet Safioune (Fig.I.38).

Les alluvions de Oued N'sa ferment la vallée au Nord de sebkhet Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval. Cette fermeture s'est rompue dans sa partie Est et les eaux du lac ont pu s'échapper vers le Nord / Est; en direction de Touggourt et Chott Melrhir. Celles de l'Oued M'zab atteignent sebkhet Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l'Oued N'sa semblent plus fréquentes.

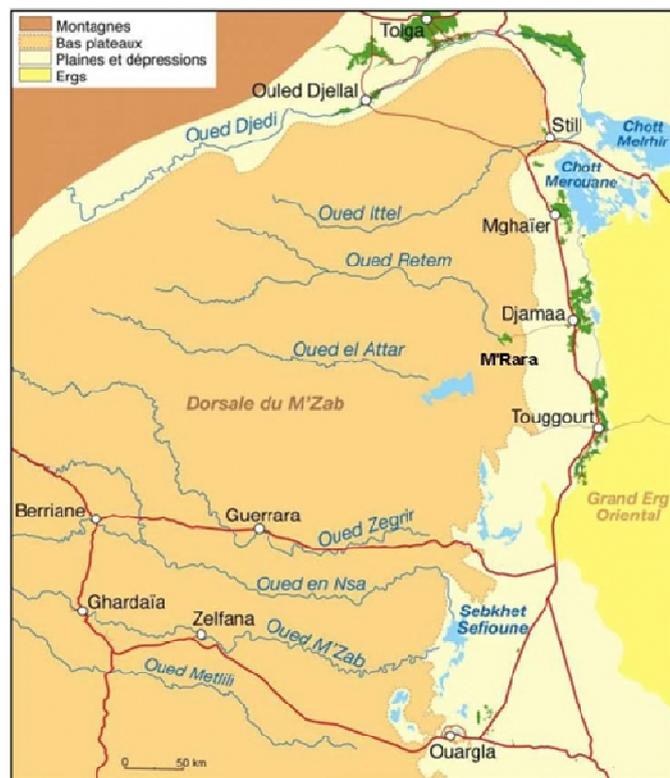


Fig.I.38: Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais, 2010)

II.2- Région d'El-Kala

II.2.1- Les surfaces d'eau

Les eaux stagnantes jouent un rôle prépondérant dans l'hydrologie de la région, elles forment, en effet, dans cette région, de nombreux marais temporaires ou permanents (garaâ M'dakra). Les véritables lacs sont: lac Oubeïra, lac Mellah et lac Tonga.

- Le *lac Oubeïra*, de forme subcirculaire, mesure de 5 à 6 Km de diamètre, sa profondeur maximum variant de 2 à 3 m. installé sur un fond de sable, il comporte

néanmoins superficiellement une lame de 10 à 30 cm de vase, charriée de l'oued Messida. Ses eaux n'ont qu'une très faible teneur en sel.

- Le *lac Mellah* est une lagune marine en communication intermittente avec la mer par un étroit goulet, sa profondeur varie entre 5 à 6 m, son fond est sableux et graveleux. (sa communication avec la mer n'est pas constante, elle demeure interrompue aux basses eaux).
- Le *lac Tonga*, à sous-sol est formé par les argiles de Numidie, était jadis occupé par une nappe d'eau douce de 1800 ha, ses eaux sont apportées par les oueds.

II.2.2- Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique du bassin versant inclus l'ensemble des cours d'eau drainant le territoire du bassin versant. Il comprend tous les canaux et les ruisseaux pour aboutir au cours d'eau principal appelé dans notre cas Oued.

La configuration du terrain de la région d'El-Kala détermine trois systèmes d'organisation hydrographiques (*Fig.I.39*):

- la partie Sud-est est drainée par trois Oueds : l'Oued Bougous, Ballouta et El Kebir. Ce dernier constitue le collecteur principal (Apports de 245 Hm³/an); il alimente les nappes alluviales et dunaires et lors des crues, on assiste à la mise en eau des dépressions inter-dunaires ;
- La partie orientale est caractérisée par plusieurs oueds en général à faible débit, ils s'écoulent en majorité dans la plaine d'Oum Teboul ;
- La partie ouest est également parcourue par de nombreux oueds (El-Aroug, Mellah, Reguibet, Boumerchen, Dai El-Graa...), qui se déversent pour la plupart dans les lacs Mellah et Oubeira.

Principaux Oueds	Longueur (Km)	Exutoire	Principaux Oueds	Longueur (Km)	Exutoire
Oued Reguibet	8	Mellah	El-Aroug	10	Tonga
Oued Nhal	3,5	Plage Cap Rosa	El-Hout	14	Tonga
Oued Mellah	7	Mellah	Bougous	24	Mexa
Oued El-Aroug	5	Mellah	Sbaa	4	Oued El-Kebir
Demat Rihane	1,5	Oubeira	Bouredim	5	Bouredim
Boumerchen	2	Oubeira	Messida	10	Oubeira - El Kebir
Dai El-Graa	5	Oubeira	El-Kebir	35	Mafrag

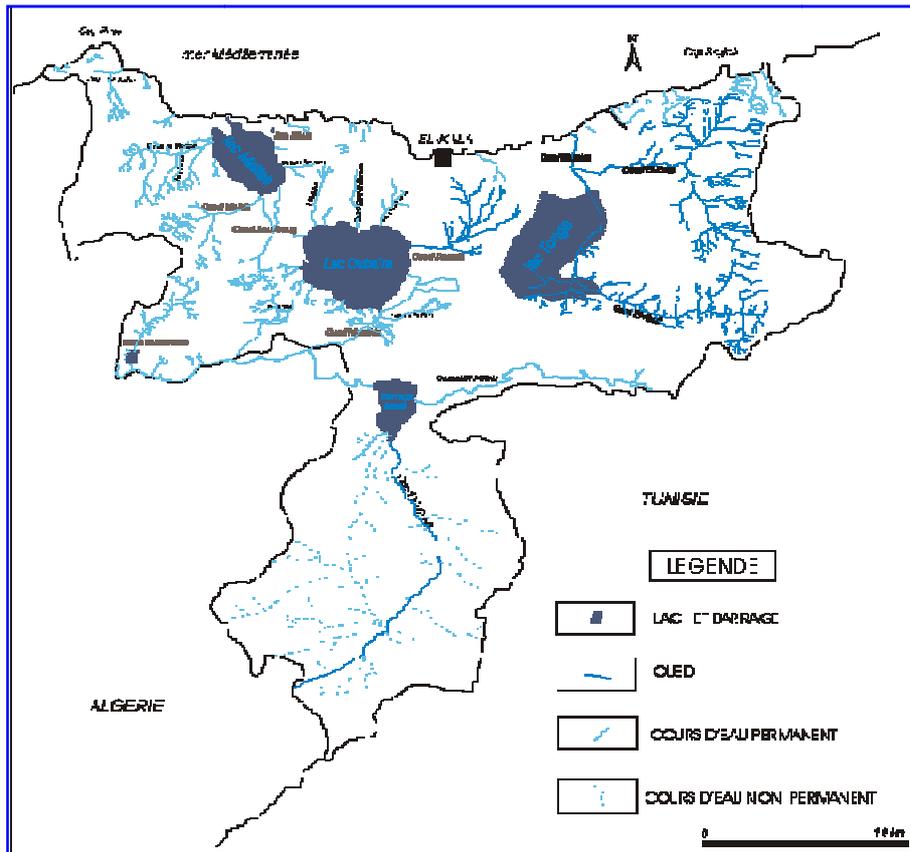


Fig.1.39: Réseau Hydrographique du Parc National D’El Kala

III. HYDROGEOLOGIE

III.1- La région d’Ouargla

Le bassin du Sahara septentrional, est bien doté en formations aquifères favorables à la circulation souterraine des eaux. Il comprend le fameux système aquifère du Sahara septentrional (SASS). Généralement on peut dire que Le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional contient trois principaux aquifères :

- A la base la nappe du continental intercalaire, l'un des plus grands réservoirs captifs du monde ;
- Au milieu la nappe du complexe terminal ;

Au sommet les nappes phréatiques qui sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou les vallées. Elles sont alimentées par les pluies, les crues, les eaux de drainage et aussi très souvent par les sources en provenance des aquifères plus profondes ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitants ces dernières (Zeddouri, 2009). Les profondeurs des nappes dites libres au Sahara varient entre 1 et 60 m, sauf dans la région des Ziban où elle peut atteindre les 150m, le résidu sec est très variable selon les zones.

La nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Elle affleure dans les zones basses (sebka et chott) et dans certaines palmeraies. Elle est située à une dizaine de mètres de profondeur dans certaines zones

urbaines. Cette nappe n'est pas exploitée à cause de sa grande salinité (plus de 15 g/l). En outre elle est polluée car elle se mélange aux eaux dans certains points et elle reçoit aussi les eaux de drainage de la palmeraie.

Les travaux effectués sur la qualité de ces eaux montrent que :

- Les eaux destinées à l'AEP ne répondent pas aux normes de potabilité notamment en ce qui concerne la minéralisation.
- La dégradation de la qualité des eaux du Mio-pliocène (salinité)
- Les eaux de la nappe phréatique présentent une forte salinité (>15 g/l) ajouté à cela une contamination de cette nappe par les eaux usées, ce qui présente une menace de pollution pour les autres nappes.

III.2- La région d'El Kala

Du point de vue hydrogéologique, deux formations sont observées dans la région : les formations perméables et les formations peu perméables. Aux formations peu perméables appartiennent les grès et argiles numidiennes, ainsi que les limons et les argiles se trouvant dans les alluvions de l'oued El-Kebir. Leur perméabilité est faible. Elle varie entre 10^{-8} m/s dans les argiles et les grès et évolue par contre de 10^{-7} à 10^{-6} m/s dans les limons et les argiles alluvionnaires.

La nappe phréatique s'étend sur les plaines de Bouteldja et d'El-Tarf. Elle est présente jusqu'en bordure du cordon dunaire et son épaisseur varie de 40 à 50 m dans la plaine de Bouteldja et de 2 à 20 m dans celle d'El-Tarf. Elle est formée par des couches argilo-sableuses à limoneuses et d'argiles compactes avec un passage latéral plus au moins notable de sable fin, cette nappe peu perméable par sa nature lithologique (perméabilité de 3.10^{-6} à 5.10^{-7} m/s) est limitée au Nord par le cordon dunaire de la côte, au Sud par les argiles numidiennes étanches et à l'Est par les formations de grès et d'argiles. Sa réalimentation à travers les grès numidiens est possible comme au niveau de la bordure comprise entre l'Oued Seybouse et l'Oued Bounamoussa ou à la faveur d'accidents tectoniques (drains naturels joués par les failles profondes).

IV. CONCLUSIONS

Le climat de la région de Ouargla est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région. Ce climat est de type méditerranéen aride, malgré l'effet de la continentalité, il est caractérisé par un Hiver doux et une période de sécheresse prolongée dominée par des vents de direction SW-NE.

La température est très élevée en été, avec une moyenne mensuelle du mois le plus chaud (Juillet) qui dépasse 34.63°C et celle du mois le plus froid (Janvier) est de 11.76°C ;

Les vents ont une vitesse moyenne de l'ordre de 3,75 m/s, cette vitesse est plus élevée aux mois d'Avril, Mai, Juin et Juillet avec plus de 4 m/s et moins élevée durant les mois d'Hiver (2,55m/s). La direction dominante des vents est SSW-NNE ;

La précipitation moyenne mensuelle est de l'ordre de 6.32 mm, Novembre est le mois le plus pluvieux (13 mm) et Juin plus sec (1 mm) ;

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 90.6 mm au mois de Janvier et de 418.76 mm au mois de Juillet, soit de 2814.7 mm/an.

L'exploitation des données disponibles a permis d'établir un bilan hydrologique global semble refléter convenablement le phénomène de la remontée des eaux. Ce sont les eaux d'irrigation mal drainées qui favorisent l'élévation du niveau d'eau dans la nappe phréatique.

D'après l'analyse des données climatiques, on constate que la région d'El-Kala a un climat semi-humide méditerranéen qui se caractérise par deux saisons, l'une froide et humide qui s'étale du mois d'octobre au mois d'avril et l'autre chaude et sèche s'étalant du mois de Mai au mois de septembre.

On remarque aussi l'irrégularité des précipitations qui augmentent de l'Ouest à l'Est et du Nord vers le Sud, ainsi qu'une humidité relative très élevée durant toute l'année.

Le mois le plus froid de la région d'El Kala est le mois de Janvier avec une température moyenne mensuelle de 11.8 °C alors que le mois d'Août est le mois le plus chaud où on a enregistré une température moyenne mensuelle de 25.9°C.

Les résultats des bilans nous ont permis de remarquer une ETR élevée et un déficit considérable caractérisé par des mois hyper secs.

Les précipitations enregistrées pendant la saison humide peuvent engendrer des inondations remarquables se répétant d'une année à l'autre.

Deuxième partie

Matériels et méthodes et Synthèse bibliographique

Chapitre IV : Synthèse bibliographique
Chapitre V : Matériels et méthodes

Chapitre IV

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE IV**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE****1 - Définition et historique**

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation des objets à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates formes aéroportées, spatiales, terrestre ou maritime. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition de l'information à distance sans contacts directs avec l'objet détecté (Bonn et Rochon, 1992).

La télédétection est le plus souvent appliquée à l'observation de la Terre, mais peut aussi concerner d'autres planètes, étoiles, galaxies...

Elle intègre les développements les plus récents de la recherche spatiale, de la physique et de l'informatique pour constituer aujourd'hui un des outils les plus puissants et des plus flexibles pour la gestion du milieu.

Ses possibilités d'application sont en croissance constante, elle intervient comme un outil complémentaire qui améliore l'efficacité des méthodes classiques. Elle apporte une information différente, nouvelle et spatialement localisée.

La télédétection moderne est née de la photographie aérienne, dont la vue verticale a modelé nos méthodes de cartographie et de surveillance de l'environnement depuis plus d'un siècle.

Dans un premier temps, la photographie aérienne a apporté une vision plus globale de notre milieu, mais sans étendre le spectre des couleurs que nous pouvions percevoir. Pourtant, les physiciens savaient depuis plusieurs années déjà que la lumière est une onde électromagnétique dont nos yeux n'ont qu'une perception limitée.

Ce que nous appelons rayons ultraviolets, lumière visible, infrarouge et micro-ondes ne sont en fait que des manifestations différentes d'une même famille d'ondes qui ne diffèrent que par la fréquence (ou la longueur d'onde).

Au fur et à mesure du développement de la télédétection, on a toujours cherché à concilier deux objectifs opposés : voir le plus grand territoire possible, mais avec la meilleure précision possible.

Cependant, dans le domaine photographique le développement des objectifs grands angulaires est allé de pair avec celui des films à grain très fin qui permettent une très bonne limite de résolution même à partir de photographies à très hautes altitudes.

La nécessité d'une transmission rapide des images vers la terre a conduit à l'amélioration de la limite de résolution spatiale sur les images numériques. C'est ainsi qu'à partir de satellites en orbites polaires à des altitudes de 800 à 1000 Km, on est passé des limites de résolution de quelques kilomètres pour les NIMBUS en 1970 à 80m sur LANDSAT-MSS (Multi Spectral Scanner) en 1972, puis à 30m sur LANDSAT/TM (Thematic Mapper) en 1983, et par la suite à 10m sur SPOT-1 en 1986. Une limite de 15m

est cependant envisagée pour LANDSAT 7- ETM (Enhanced Thematic Mapper), mais il semble que 10m soit la limite actuellement possible avec une politique d'accès universel aux données d'échelle.

La recherche d'une limite de résolution de plus en plus fine a cependant des inconvénients :

La qualité des données générées augmente en fonction du carré du nombre d'élément d'image (pixel : picturalement) par le côté de celui-ci, ce qui pose un sérieux problème au niveau de la transmission, du stockage et du traitement de l'information.

Les images à limite de résolution plus fine soulèvent des problèmes d'échelle qui rendent caduque des méthodes d'analyse et de traitement développées avec des données plus grossières.

Par contre, l'apparition de données satellitaires à grande limite de résolution ouvre la porte à toute une série d'applications autrefois réservées aux photographies aériennes telles que la cartographie topographique ou les études urbaines (Bonn et Rochon, 2000).

L'analyse des images obtenues par la télédétection a d'abord été faite de façon visuelle par l'interprétation de photographies aériennes (la photo-interprétation) pour le besoin de plusieurs disciplines. D'autre part, la mesure précise des formes et de la localisation des objets (photogramétrie) s'est développée en utilisant la vision stéréoscopique assistée par différents instruments optiques. A l'arrivée des images numériques, les systèmes d'analyse d'image utilisant divers types d'ordinateurs ont commencé à faire leur apparition. Leur développement a suivi, celui très rapide de l'informatique aussi bien du point de vue matériel que logistique.

L'analyse des images de télédétection a toujours comme but une interprétation, que cette interprétation concerne la position des objets, leur nature ou leur fonction (Bonn et Rochon, 2000). Le processus d'interprétation, qu'il soit visuel ou automatique, transforme les données contenues dans l'image en éléments d'information rattachés à une localisation géographique.

2- Principe de base

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. L'obtention d'une information relative à la nature de la surface terrestre passe par les étapes suivantes (*Fig.II.01*):

- **Source d'énergie ou d'illumination (A) :** À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.
- **Rayonnement et atmosphère (B) :** Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.
- **Interaction avec la cible (C) :** Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.

- **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) Pour être enfin enregistrée.
- **Transmission, réception et traitement (E) :** L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- **Interprétation et analyse (F) :** Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- **Application (G) :** La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

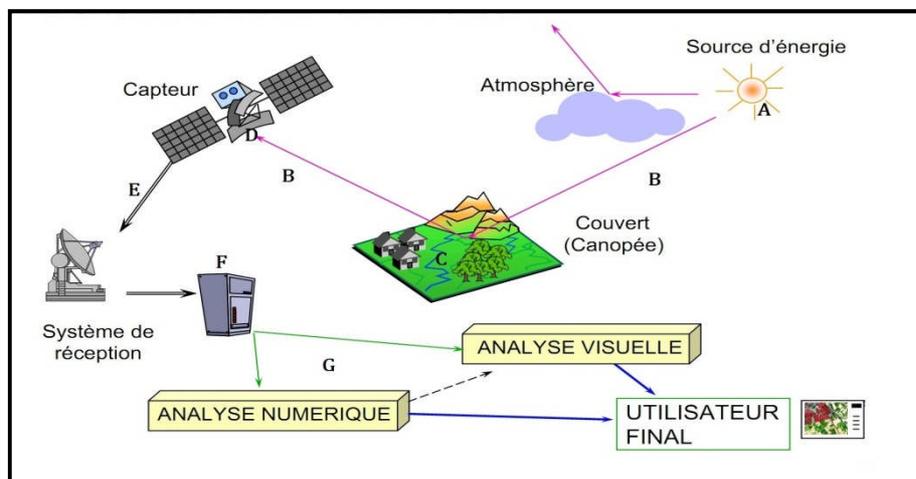


Fig.II.01: Les étapes de la télédétection (d'après TONON M, 2009)

3- Le rayonnement électromagnétique

En télédétection, on utilise les propriétés physiques des objets observés, en particulier leurs propriétés optiques pour acquérir de l'information sur la nature de ces objets. Cette information est portée à l'aide d'un rayonnement électromagnétique. Le système d'observation reçoit ce rayonnement et le traduit en éléments compréhensibles par l'utilisateur comme des images ou des données chiffrées.

Le rayonnement électromagnétique (Fig.II.02) est la propagation à la vitesse de la lumière (299793 km/s) de l'énergie sous forme d'ondes vectorielles transversales qui interagissent avec la matière.

On distingue entre deux sources d'énergie électromagnétique : naturelle (soleil, lune) ou artificielle (rayon laser et le radar).

Ces rayonnements électromagnétiques peuvent être modifiés par l'atmosphère, c'est dans cette modification que réside l'information sur la nature des objets. Ceci nous amène à la notion de signature spectrale que nous verrons dans une section suivante.

Les rayonnements électromagnétiques, se propageant dans l'atmosphère, sont soumis à des perturbations :

- ✓ Absorption par les gaz atmosphériques ;

- ✓ Emission propre du milieu ;
- ✓ Réfraction et diffusion.

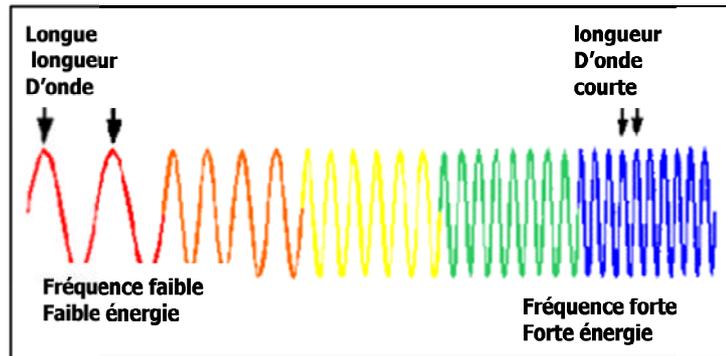


Fig.II.02 : Représentation des ondes électromagnétique et la relation entre la fréquence et la longueur d'onde.

4 - Le spectre électromagnétique

Plusieurs régions du spectre électromagnétique sont utilisées en télédétection. Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio).

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

Les principales zones du spectre dans lesquelles des mesures sont possibles en télédétection sont (Fig.II.03):

- ✓ L'ultraviolet (quoique rarement) ;
- ✓ Le visible, de 0,4 à 0,7 μm , souvent décomposé en bandes spectrales plus étroites ;
- ✓ L'infrarouge proche, c'est-à-dire proche du visible, de 0,7 à 1,5 μm .
- ✓ L'infrarouge moyen, de 1,5 à 3 μm .
- ✓ L'infrarouge thermique, de 3 à 15 μm .
- ✓ Les hyperfréquences appelées aussi micro-ondes, de 1 millimètre à 1 mètre.

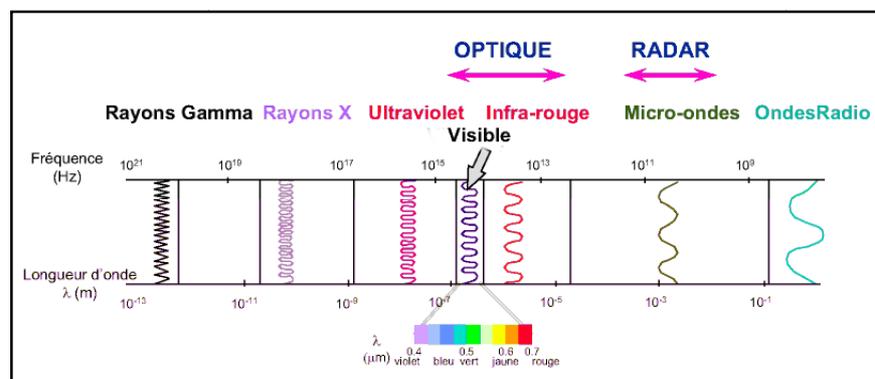


Fig.II.03: Le spectre électromagnétique

La lumière que les yeux peuvent déceler se trouve dans ce que l'on appelle le "spectre visible" ; ses longueurs d'onde visibles s'étendent de 0,4 à 0,7 μm . Il est important de noter que c'est la seule portion du spectre que nous pouvons associer à la notion de couleurs.

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

Depuis quelques temps, la région des hyperfréquences suscite beaucoup d'intérêt en télédétection (Fig.II.04). Cette région comprend les plus grandes longueurs d'onde utilisées en télédétection et s'étend approximativement de 1 mm à 1 m. Les longueurs d'onde les plus courtes possèdent des propriétés semblables à celles de l'infrarouge thermique, tandis que les longueurs d'onde les plus grandes ressemblent aux ondes radio.

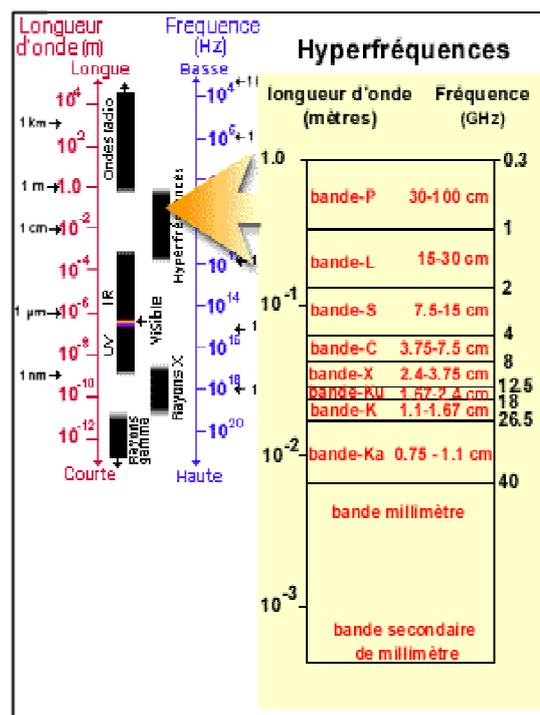


Fig.II.04 : représentation du spectre électromagnétique, domaine des hyperfréquences.

5- Les comportements spectraux

Les différents objets n'absorbent pas tous la même partie du rayonnement solaire, et par conséquent, le spectre du rayonnement réfléchi est différent. L'allure du spectre électromagnétique réfléchi par un objet est appelée sa « signature spectrale ». La télédétection exploite cette propriété : l'analyse des caractéristiques du spectre

électromagnétique réfléchi par les objets (leur signature spectrale) permet dans une certaine mesure de déterminer certaines propriétés des objets.

C'est le cas des sols, des végétaux et de l'eau. A chacun de ces objets correspond un groupe de comportements spectraux, très différents entre eux (Fig.II.05). Un comportement spectral correspond à la fonction définissant la valeur de la réflectance dans les diverses bandes spectrales étudiées (courbe de réflectance).

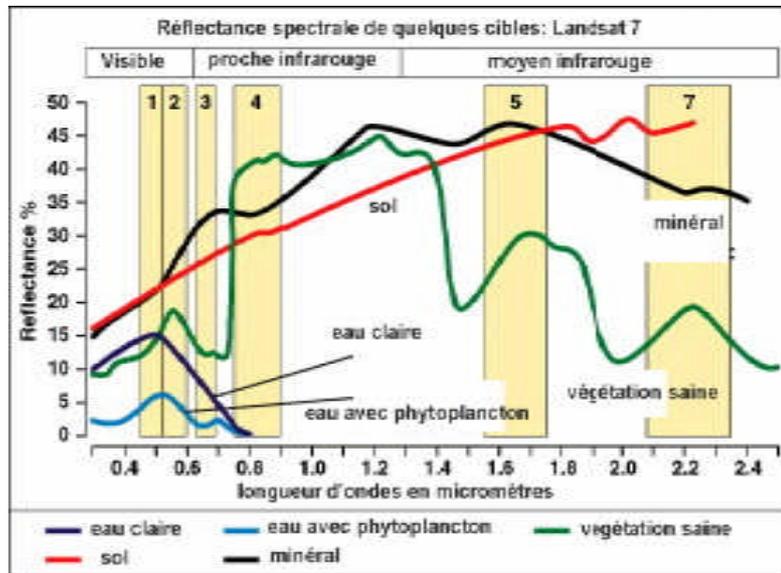


Fig.II.05 : Réflectances comparées d'un sol nu, d'une végétation verte et d'eaux

6- Domaines d'application de télédétection

6-1- Géologie

Les données de télédétection, avec ou sans traitement préalable, servent de support à l'interprétation thématique qui consiste en géologie (Hemmad, 2008) à :

- ✓ Limiter et différencier certains ensembles lithologiques.
- ✓ Corréler ou classifier et homogénéiser la levée géologique : une bonne interprétation des images doit faciliter la cartographie géologique et localiser certains types structurels.
- ✓ Identifier et déterminer certains accidents tectoniques.
- ✓ Rechercher des anomalies et les mettre en évidence (cristallin magmatique, structure circulaire RICHAT (Mauritanie), impacte météoritique ...)

A des degrés divers selon les conditions d'affleurement, par observation directe des phénomènes ou par interprétation des indicateurs de surface, texture, morphologie, occupation des sols, on découvre sur les images des objets que seule l'expérience du photo-interprète permet d'assimiler à des objets géologiques :

- ✓ les faciès morpho-lithologiques,
- ✓ les discontinuités des images, indicatrices de failles,
- ✓ les éléments de la tectonique souple,
- ✓ les structures circulaires, etc.

6-2- Hydrogéologie et hydrologie

Les applications des techniques spatiales aux études hydrogéologiques et hydrologiques ont énormément évolué depuis le lancement, en 1972, du premier satellite, haute résolution, d'observation de la terre.

L'eau est un facteur fondamental dans le processus de développement. Les problèmes qui lui sont associés concernent fréquemment de grands territoires et exigent, pour les résoudre, d'engager des processus de collecte d'informations globales.

Une gestion efficace de l'eau requiert, entre autres, la maîtrise d'une information homogène et synoptique. L'expérience a montré l'intérêt des données de télédétection pour la recherche et la gestion des ressources en eau. Parmi les possibilités d'applications, on peut citer :

- ✓ pour les eaux de surface, la réalisation d'inventaire et le suivi de la dynamique des plans d'eau (naturels ou artificiels), l'étude du réseau hydrographique et de l'humidité des sols ;
- ✓ pour les ressources en eau souterraine, la présence de l'eau ne peut être "détectée" directement sur les images satellitaires (ou aériennes).

Toutefois, la contribution de la télédétection se situe au niveau de l'interprétation et de la reconnaissance des conditions géologiques, structurales et géomorphologiques, favorables à la présence de l'eau et à sa circulation. Elles peuvent orienter et assister les travaux de prospection hydrogéologique.

Dans les projets d'aménagements hydrauliques, l'interaction entre les facteurs physiques, biologiques et socio-économiques est complexe. Cela nécessite une approche intégrée pour optimiser l'usage des ressources et prévoir les retombées sur l'environnement. La télédétection peut être utilisée dans ces projets à différents niveaux :

- ✓ étude et choix de sites ;
- ✓ étude d'impact sur l'environnement ;
- ✓ carte d'occupation des sols ;
- ✓ localisation des matériaux de construction.

6-3- Cartographie

L'application majeure de la télédétection à la cartographie est l'établissement de cartes spatiales, définies comme cartes schématiques présentant la planimétrie et l'altimétrie sur un fond d'image couleur. Les échelles sont généralement de l'ordre du 1/100.000 ou 1/50.000, et peuvent atteindre 1/25.000 en panchromatique.

L'altimétrie est obtenue par restitution photogrammétrique à partir d'un couple stéréoscopique générant un modèle numérique de terrain MNT. La planimétrie est déduite par photo-interprétation de l'image satellite et/ou récupérée à partir de la cartographie existante.

Le fond d'image satellite de la carte spatiale est traité pour une meilleure lisibilité et est rectifié géométriquement pour correspondre à une des projections cartographiques

usuelles. Le fond d'image peut être utilisé de manière complémentaire avec les cartes thématiques.

La télédétection contribue à l'aménagement du territoire en zones sous-équipées sur les plans cartographique, topographique et thématique et à la remise à jour rapide des cartes existantes.

7- La télédétection multi spectrale (Le Programme LANDSAT)

La notion d'imagerie multi spectrale a pris naissance avec le lancement du premier satellite américain de télédétection spatiale LANDSAT, qui visait à offrir une information continue pour assurer l'inventaire et la surveillance des ressources terrestres. Lancé en 1972, ce premier satellite à une altitude de 900 Km, emportait à son bord un scanner mécanique MSS (multi spectral Scanner), comportant quatre bandes spectrales dans le visible et le proche infrarouge, dont la tache au sol était d'environ 80 m, et trois caméras RVB (Return Beam Vidicon) opérant dans le visible et le proche infrarouge avec une résolution voisine de celle de MSS.

La première série de cette famille consiste aux satellites LANDSAT-1,2 et 3, lancés de Vandenberg, respectivement le 23 juillet 1972, 22 janvier 1975 et 5 mars 1978. Le MSS représente la seconde série de LANDSAT qui assure une collecte de données sur une largeur de balayage de 185 Km au sol. Cette deuxième série (LANDSAT-4 et 5) est équipée en outre d'un radiomètre de meilleure résolution spatiale, doté de sept canaux de mesure : le capteur TM (Thematic Mapper). Les scènes TM ont marqué un progrès considérable dans la précision des données de télédétection acquises par balayage.

Le TM et le MSS étaient des instruments révolutionnaires pendant leur temps, mais en raison du nombre réduit de bandes spectrales détectées, ils manquaient de résolution spectrale suffisante pour des études plus précises de surface (*Tableau n°II.01*).

Le caractère numérique des données multi-spectrales permet de procéder sur le signal enregistré à des traitements qui visent une amélioration de la qualité des produits photographiques ou à classer l'information.

Tableau n°II.01: Les principales caractéristiques des capteurs multi spectraux.

	<i>MSS</i>	<i>TM</i>
Unité géographique d'observation (scène)	185 x 185 Km	185 x 170 Km
Résolution spatiale	56 x 79 m	30 x 30 m 120 x 120 m pour TM 6
Nombre de canaux	4 : 2 visibles 2 proches infrarouges	7 : 3 visibles, 1 proche infrarouge, 2 infrarouges moyens, 1 infrarouge thermique.

LANDSAT-7, lancé en 1999 marque une nouvelle orientation dans le programme, afin de réduire le coût des données et d'augmenter la couverture globale de la Terre, ceci dans la perspective de recherches concernant le changement global ("Global Change"). Il embarque le radiomètre ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus).

La résolution spatiale est passée de 80 m à 30 m (ou 15 m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, l'infrarouge proche et moyen ainsi que l'infrarouge thermique (7 bandes multispectrale (Tableau n°II.02) et 1 bande panchromatique).

Le radiomètre ETM+ permet ainsi d'offrir des images couvrant un champ d'observation de 185 km x 185 km, avec une résolution spatiale de 30 m en mode multi spectral.

Tableau n°II.02: Caractéristiques des bandes spectrales ETM+ de LANDSAT

Bandes	Domaine spectral (microns)	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	discrimination entre le sol / la végétation, bathymétrie/cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	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)	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)	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)	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)	discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation

8- Spécifications du satellite Landsat ETM+

Les spécifications du satellite (Fig.II.06) sont énumérées ci-après :

- ✓ Date de lancement : 15 Avril 1999 ;
- ✓ Orbite : Héliosynchrones, en orbite subpolaire ;
- ✓ Résolution temporelle : 16 jours ;
- ✓ Altitude : 705 Km, \pm 5.9 Km à l'équateur ;
- ✓ Inclinaison : 98.2 degrés, \pm 0.15 degrés par rapport à l'équateur ;
- ✓ Nœud descendant : 10:00 du matin heure locale, \pm 15 mn (heure de passage à l'équateur) ;
- ✓ Taille de la scène (la fauchée): 170 x 185 km ;
- ✓ Résolution spatiale : Résolution 30 m pour le VIS, le PIR et le SWIR,
Résolution 60 m pour le TIR,
Résolution 15 m pour le panchromatique
- ✓ Résolution spectrale : 0.5 à 12.5 microns.

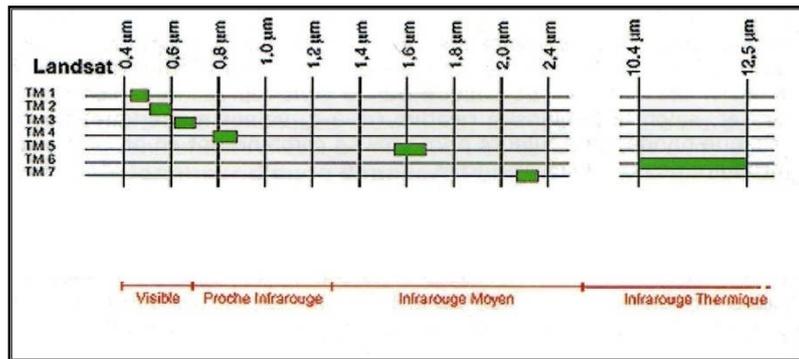


Fig.II.06 : Résolution spectrale du satellite Landsat 7

9- Choix des données : Résolution spatiale des images et l'échelle cartographique

L'échelle est importante dans les études géologiques. Son choix oriente et influence les résultats escomptés. Toutefois, certaines contraintes peuvent limiter ce choix dans un travail de recherche. Ces contraintes concernent : la disponibilité des données thématiques, la résolution spatiale des images satellitaires et la limite méthodologique (dimension spatiale).

A l'échelle des unités géomorphologiques, les images à moyenne résolution spatiale MSS, TM et ETM+ de Landsat trouvent une place privilégiée comme outil d'observation. Avec ce type d'image le niveau perceptible des objets cartographiques est compris du 1:1000.000 au 1:50.000 (Fig.II.07). Par contre, le niveau de base constituant les paysages ne peut être perçu qu'avec les photographies aériennes ou des images à très hautes résolutions spatiales (<10 m). Théoriquement si la localisation des objets est parfaite (utilisation d'un GPS différentiel), il suffit simplement d'augmenter la résolution des images afin d'identifier n'importe quel objet en fonction des critères structuraux et spectraux.

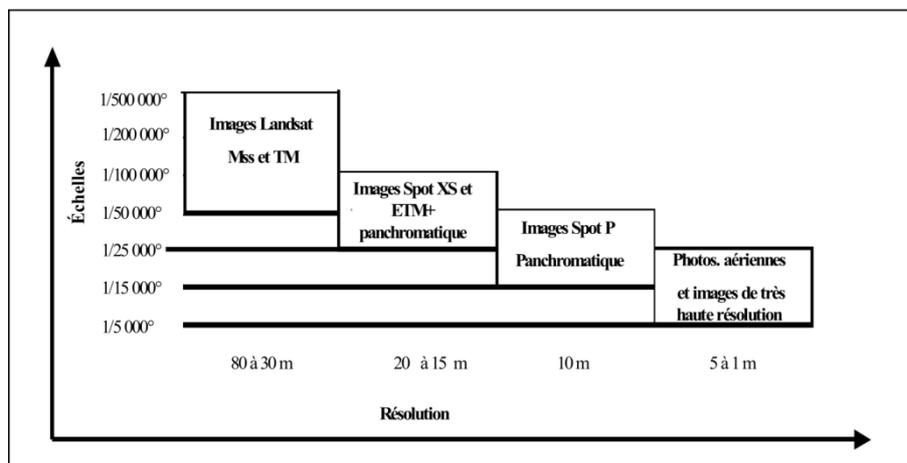


Fig.II.07 : Résolution spatiale des images satellitaires et échelles de restitutions

Chapitre V

MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE V**MATERIELS ET METHODES**

Nous allons présenter les différentes méthodes de traitements des images satellitaires, les conditions et les modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse des échantillons ainsi que le traitement des résultats par utilisation de l'outil informatique.

1- Partie Télédétection**1-1 Les données satellitaires (LANDSAT ETM+)**

Les images LANDSAT dont nous disposons sont représentées par des scènes ETM+ en mode multi-spectral. La diversité des canaux (6 bandes spectrales hors thermique) fournit une multitude d'information à manipuler.

Les bandes TM1, 2, 3, 4, 5 et TM7 offrent des images à 30m de résolution spatiale (1/100000^{ème}).

- Région d'Ouargla la scène N° 193 r38 du 20/12/2000.
- Région d'El-Kalam la scène N° 192 r34 du 03/05/2000.

1-2 Logiciel utilisé (ENVI 4.5)

Le logiciel ENVI4.5 est utilisé pour effectuer les traitements et les classifications d'images satellitaires. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de classification et de mise en page cartographique sont présentes (BenMessoud, 2009). Il offre une très bonne visualisation et analyse des images ayant différents formats et tailles.

ENVI inclut toutes les fonctions de base pour le traitement d'image. Comme les outils de l'analyse spectrale, la transformation des données, le filtre et la classification. ENVI ne limite pas le nombre de bandes spectrales à traiter c'est pourquoi ses outils sont utilisés pour les données multi-spectrales et hyper spectrales. Il inclut, également plusieurs fonctions permettant l'analyse des données radar.

1-3 Méthodes**1-3-1 Analyse visuelle de l'image ETM+ de Landsat (composition colorée)**

Elle a été réalisée à partir d'une composition colorée pour déterminer les états de surface. On utilise habituellement cette combinaison comme première image pour permettre la visualisation des différents aspects du paysage : dunes, sebkhas, lacs, oueds, et végétations, en affectant :

- Le Moyen Infrarouge de la bande 5 (**MIR**) au canal **Rouge**.
- Le Proche Infrarouge de la bande 4 (**PIR**) au canal **Vert**.
- La couleur rouge de la bande 3 (**Rouge**) au canal **Bleu**.

Elle a servi à identifier les zones humides dans un climat hyperaride, grâce à la photo-interprétation après rehaussement et filtrage des images.

1-3-2 Les classifications d'image multi spectrale

Les méthodes de classification appliquée dans l'étude sont supervisées et non supervisées.

- **Classification non supervisée** a été réalisée avec la méthode IsoData appliqué aux six bandes spectrales (hors thermique). Cette classification ne demande aucune connaissance a priori du nombre de classes précis ou de leurs caractéristiques de l'utilisateur (Pony O. et al. 2000).

La méthode de classification non supervisées ou les données sont classées en fonction de leurs caractéristiques, sans aucune information précédente sur la nature des données à classer. L'utilisateur peut intervenir pour fixer le nombre de classes souhaité, un seuil minimum avec le choix du nombre d'itérations. Cette méthode de classification par IsoData est utilisée à partir des six bandes spectrales hors thermique (bande 6).

Pour minimiser les confusions entre certaines classes, nous avons calculés les néo-canaux suivant : l'analyse en composantes principales (ACP), l'indice de végétation normalisé (NDVI) et l'indice de brillance (IB). Ils sont effectués afin de sélectionner les meilleures bandes spectrales et d'augmenter le contraste eau-sol-végétation. En effet, l'ACP réduit le bruit de l'image et crée une image sur laquelle chaque bande est peu corrélée aux autres et contient des informations uniques (Hoang et al. 2009). L'indice NDVI réduit les effets d'éclairement ou de pente sur la réflectance des couverts végétaux (Hoang et al. 2009) et permet de mieux séparer les zones humides salées, la végétation (Palmeraies et périmètres irrigués), des sols nus, des agglomérations et des sols humides. L'indice IB présente une sensibilité certaine à l'humidité des sols, l'augmentation de la teneur en eau s'accompagnant d'une diminution de la pureté et de la luminance de la couleur (Henry. 2004). La classification par IsoData a été appliquée uniquement sur les néo-canaux (ACP, NDVI et IB) sur la région d'Ouargla seulement.

- **Classification supervisée** s'effectue par une démarche différente de celle de non supervisée, et oblige à définir les classes thématiques en premier lieu. L'extraction statistique de ces classes permette de leurs affecter des pixels de l'image (Caloz et Pointet. 2003). Dans cette classification les données sont classées vis à vis de zones d'apprentissage choisies par l'utilisateur. La méthode utilisée dans cette étude est une procédure supervisée, appelée classification par maximum de vraisemblance (Richards and Xiuping, 1999).

Une matrice de confusion a été effectuée pour évaluer la qualité de la classification. Elle est obtenue en comparaison avec les données classées (la classification) et les données de références (échantillons acquis sur le terrain) pour vérification qui sont différentes de celles ayant servi à réaliser la classification. (Girard et Girard, 1999).

- **Cartographie de classification**

Après les différents traitements d'images, des cartes de différentes classifications sont été réalisés avec des coordonnées UTM et géographiques et une légende représentant les différentes classes des zones humides et l'occupation du sol des terrains étudiés par les couleurs différentes.

2- Partie chimie

L'étude des zones humides (lac, chott, sebkha) demande une réflexion préalable de la méthode d'échantillonnage elle-même qui dépend à son tour de l'objectif fixé à l'étude.

- Lieu d'échantillonnage (chott, sebkha, lac...)
- Paramètres analysées sur terrain
- Conditions d'échantillonnages (quantité, condition de préservation des échantillons jusqu'à leur analyse au laboratoire.

2-1 Prélèvement des échantillons

- Saumures et eaux : les échantillons utilisées sont conservés dans des bouteilles en plastique (polyéthylène), d'un volume de 1,5 l. avant de procéder au prélèvement des échantillons des saumures et de l'eau douce, les bouteilles seront rincée 3 fois avec de l'eau distillé, puis elles sont rincée sur le terrain avec les saumures du chott et de sebkha et les eaux douces des lacs (Tonga, Oubeïra), pour éviter toutes contaminations, avec les autres solutions. Après les prélèvements les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation puis on prend sur place les données suivantes (pH, température, conductivité)
- Solides (sols et sels) : sont mis dans les sacs en plastique

Le prélèvement d'un échantillon des saumures, eau et sel est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Pour faciliter le travail de l'analyse et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, il convient d'étiqueter ou de numéroter les prélèvements. Chaque flacon d'échantillonnage doit être clairement identifié et accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements au laboratoire et comportera les renseignements suivants :

- 1- Identité du préleveur
- 2- Date et heure du prélèvement
- 3- Nom du point d'eau et localisation précise
- 4- Origine de l'échantillon (source, puits, sebkha, lac,...)
- 5- Température de l'eau à l'émergence et celle de l'atmosphère au moment du prélèvement. Condition météorologiques.
- 6- Nature géologique des terrains traversés, aspect du milieu naturel. (Rodier,2005)

2-1-1 Echantillons de l'eau

Deux séries de prélèvements ont été effectuées au niveau de la région d'Ouargla(*Fig.II.08*), 6 échantillons dans sebkhet Oum Raneb et 6 échantillons dans le chott de Ain Beida (25/03/2011). Dans la région d'El-Kala 6 prélèvements ont été effectués(*Fig.II.09*), 3 échantillons au niveau de lac Oubeïra et 3 échantillons au niveau du lac Tonga (10/07/2011).

2-1-2 Echantillons solides

Quatre (4) échantillons ont été prélevé au niveau de la région de Ouargla (25/03/2011), deux échantillons de sel au niveau du chott Ain Beida et deux échantillons de sel dans sebkhet Oum Raneb.

Ces quatre échantillons ont été prélevés en surface, séchés et broyés puis analysé par diffractomètre de rayons X.

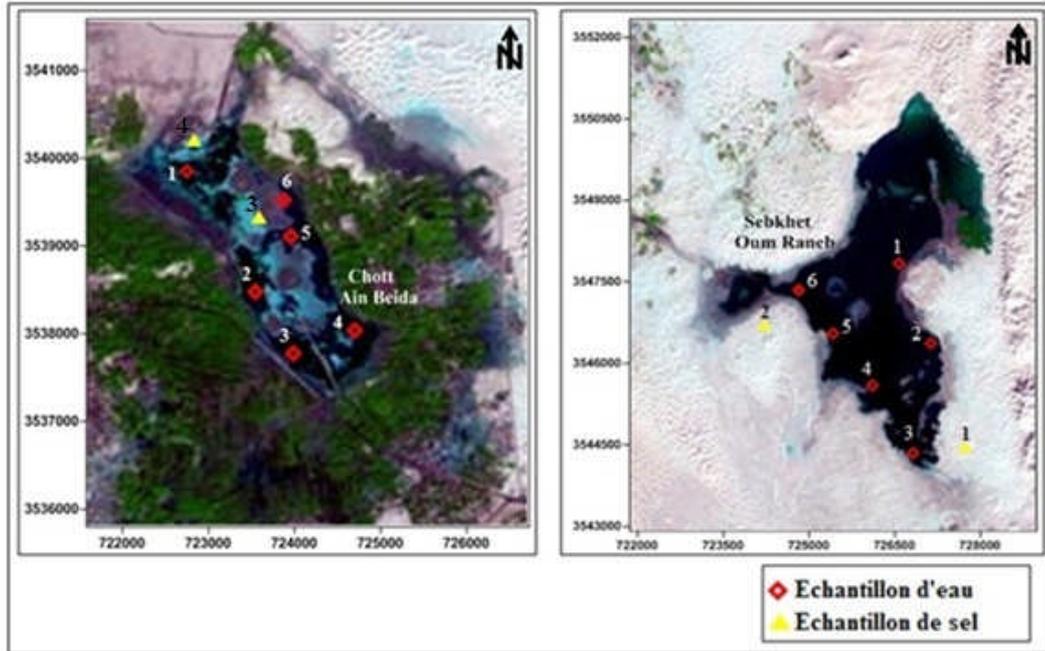


Fig.II.08 : Carte d'inventaire des échantillons d'eau et de sel dans la région d'Ouargla

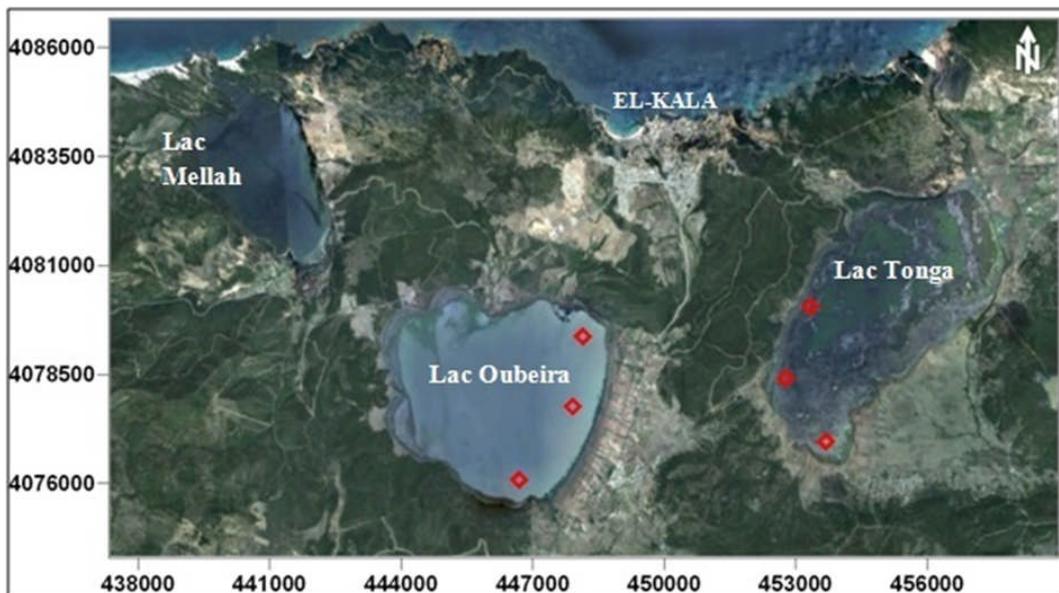


Fig.II.09: Carte d'inventaire des échantillons d'eau dans la région d'El Kala

2-2 - Méthodes d'analyses des eaux

Nous avons choisi des paramètres physico-chimiques tels que la température, la conductivité électrique, le pH et des paramètres chimiques tels que les éléments majeurs : les anions solubles (chlorure, sulfate, bicarbonate) et les cations solubles (sodium, potassium, calcium, et magnésium).

2-2-1- Les analyses sur terrain

2-2-1-1 La conductivité

La conductivité est la propriété d'une eau qui favorise le passage d'un courant électrique elle est due à la présence d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La mesure est faite avec conductivimètre avec cellule de mesure.

2-2-1-2 Le pH et T°

Le pH représente la quantité de proton (H^+) présentés dans une solution. Ces paramètres ont été mesurés à l'aide d'un pH mètre de terrain de marque Hanna, réf : HI 9025. Affichage simultané du pH et de la température. De gammes : pH : 0 → 14 ; T° : 0 → 100°C.

2-2-2 Analyses au laboratoire

Par titrimétrie :

Les Chlorures Cl^- , les bicarbonates HCO_3^- , ainsi que le calcium Ca^{2+} ont été dosés par titrimétrie (Rodier, 2005).

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Ils peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation à travers des terrains salés.
- Infiltration d'eaux marines dans la nappe phréatique.
- Activités humaines et industrielles.

Par complexométrie :

La dureté totale a été déterminée par complexométrie, en utilisant l'EDTA magnésien comme réactif et le noir Eriochrome comme indicateur coloré. Ce dosage représente la mesure de la dureté de l'eau (TH) en degré français, avec $TH (°F) = [Ca^{2+}(\text{még.l}^{-1}) + Mg^{2+}(\text{még.l}^{-1})] \times 5$, et par conséquent : $Mg^{2+} = TH - Ca^{2+}$.

Par spectrophotométrie :

Les sulfates et les nitrates ont été dosés par un spectrophotomètre type DR2000, marque HACH, avec des réactifs en gélules :

Elément	Longueur d'onde	Réactif
Les sulfates (SO_4^{2-})	450 nm	SulfaVer 4
Les nitrates (NO_3^-)	500 nm	NitraVer 5

Par photométrie de flamme :

Le sodium Na⁺ et le potassium K⁺ : sont analysés par un photomètre à flamme, de marque JENWAY. Photomètres de flamme Modèle IC9223, de précision : < 0.2 ppms.

Les réactifs sont des solutions étalons de chaque élément.

2-2-3 Méthodes de traitement des résultats**Diagramme**

C'est un logiciel aide à déterminer les faciès chimique de l'eau par la représentation des éléments chimiques dans le diagramme de Piper et diagramme de Schoeller-Berkaloff.

PreeqI v 2.15 (Parkhurst and Appelo, 1999)

L'étude géochimique a été effectuée par simulation à l'évaporation naturelle (température de l'échantillon), en utilisant le logiciel thermodynamique chimique, Phreeqci.v.2.15. Le calcul de l'indice de saturation ($IS = \log(Q) / \log(Kps)$) des minéraux dissous dans l'eau a été mené en utilisant la loi de Debye-Huckel, en considérant que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5.

OriginPro8 (Origin Lab, data analysis and graphing software, 2007)

Ce logiciel permet de tracer des graphes et des courbes qui représentent les variations spatiales des éléments chimiques dans les zones humides (chott, sebkha et lac).

Match! 2

Ce logiciel permet de traiter et d'interpréter les spectres de diffraction des rayons X en appliquant la loi de Bragg, chaque raie observée sur les spectres correspond à une distance inter-réticulaire d_{hkl} d'un minéral qui est calculée selon la formule de Bragg :

$$D_{hkl} = \lambda / 2 \sin \theta$$

Où : λ est la longueur d'onde et θ est l'angle de faisceau incident. Les mesures sont effectuées sur le domaine de $2\theta = 10$ à 90° .

Troisième partie

Résultats et discussion

***Chapitre VI : Traitements d'images et
classifications***

Chapitre VII : Etude hydrogéochimique

Chapitre VI

TRAITEMENTS D'IMAGES ET CLASSIFICATIONS

CHAPITRE VI

TRAITEMENTS D'IMAGES ET CLASSIFICATIONS

Les données acquises par télédétection nécessitent donc une série de traitements afin qu'elles soient les plus représentatives possible de la réalité. Donc après plusieurs traitement de la composition colorée dans les deux régions d'étude on trouve seul la composition colorée à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE est la plus représentative car les caractéristiques spécifique de ses bandes permettent une bonne visualisation des différents aspects du paysage surtout les zones humides, les sols salés et la végétation.

Pour atteindre l'objectif de la mise en évidence des zones humides notre démarche a été de réaliser des classifications non supervisées(IsoData) dans la région d'Ouargla et d'El-Kala comme première étape pour obtenir les principales classes. Une classification non supervisée à partir des néo-canaux (NDVI, IB et ACP) a été appliquée pour diminuer la confusion entre certaines classes dans la région d'Ouargla.

A l'aidé de l'interprétation de la composition colorée, ainsi qu'au choix des échantillons une classification supervisée (Maximum de vraisemblance « MV ») pour donner des classes plus précises.

1- Signatures spectrales

Le but de cette section est de déterminer des profils spectraux de différentes unités d'occupation du sol. Il s'agit de déterminer les différentes valeurs de la luminance (niveaux de gris) pour chacune des principales unités de paysage : sols nus, végétation, eau, forêts, sable...etc.

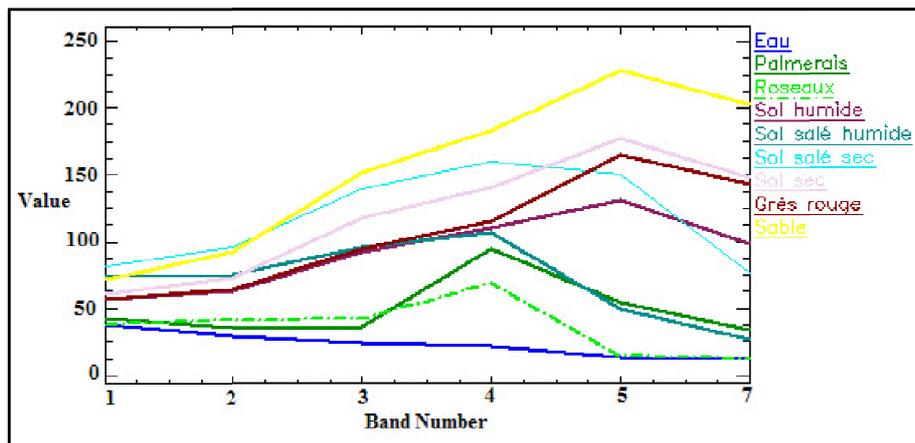


Fig.III.01 : Courbes de réflectance spectrale (région d'Ouargla).

La figure ci-dessus(Fig.III.01) montre quelques profils spectraux déterminés sur certaines entités du paysage.

Pour l'eau on remarque sa faible luminance particulièrement dans l'infrarouge. L'eau est souvent assimilée à un corps noir dans cette bande. L'eau absorbe plus les grandes

longueurs d'onde (proche infrarouge, rouge et vert) et réfléchit plus les petites longueurs d'onde (bleu).

La palmeraie montre une courbe de luminance caractérisée par une baisse dans le Rouge et une forte valeur dans le proche infrarouge.

La courbe du sable montre une luminance de plus en plus forte atteint le maximum dans le moyen infrarouge. Le sol sableux est plus réfléchissant que les autres classes puisque sa clarté est plus forte.

Le sol humide montre une courbe de luminance de moyen atteint le maximum dans le moyen infrarouge.

On peut déduire à partir cette figure que la réflectance augmente pour les sols clairs et est diminué dans les sols humides, et aussi d'analyser le facteur d'humidité facilement dans la bande du moyen infrarouge(TM7).

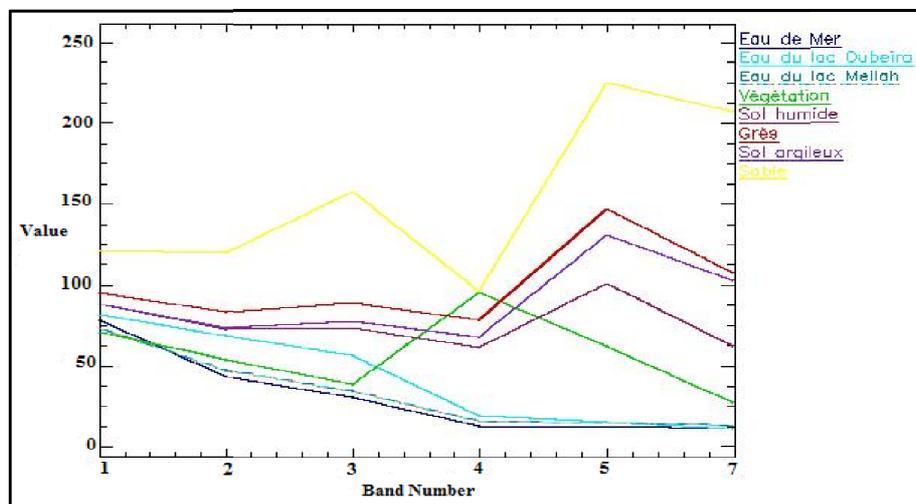


Fig.III.02: Courbes de réflectance spectrale (région d'El-Kala).

La courbe de réflectance spectrale dans la région d'El-Kala (Fig.III.02) montre que l'eau de mer à la même réflectance spectrale avec l'eau du lac Mellah. Par contre l'eau du lac Oubeira montre une réflectance élevée dans la bande bleue qui se diminue dans les autres bandes (vert, rouge, PIR, MIR).

La végétation montre une courbe de luminance caractérisée par une baisse dans le Rouge et une forte valeur dans le proche infrarouge. Le sable reste toujours le plus réfléchissant que les autres classes.

2- Interprétation de la composition colorée des images Landsat ETM+

2.1- la région d'Ouargla

La composition colorée de la cuvette d'Ouargla a été réalisée à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE (Fig.III.03), car elle est la plus représentative pour la zone d'étude et proche des couleurs réelles. Donc on peut bien distinguer les différentes formations tel que :

- la végétation de couleur verte.
- les sables et les grès respectivement du beige au marron clair.
- Les zones foncées sont assez limitées et se trouvent essentiellement dans les dépressions du lit de l'oued M'ya, représentant ainsi les zones humides selon le taux d'humidité du sol jusqu'à l'eau en noir.
- Des superficies colorées en cyan clair à foncé montrant aussi des zones d'efflorescence des cristaux de sel et des croutes salifères selon le taux d'humidité et de salinité (sol salé sec et sol salé humide).

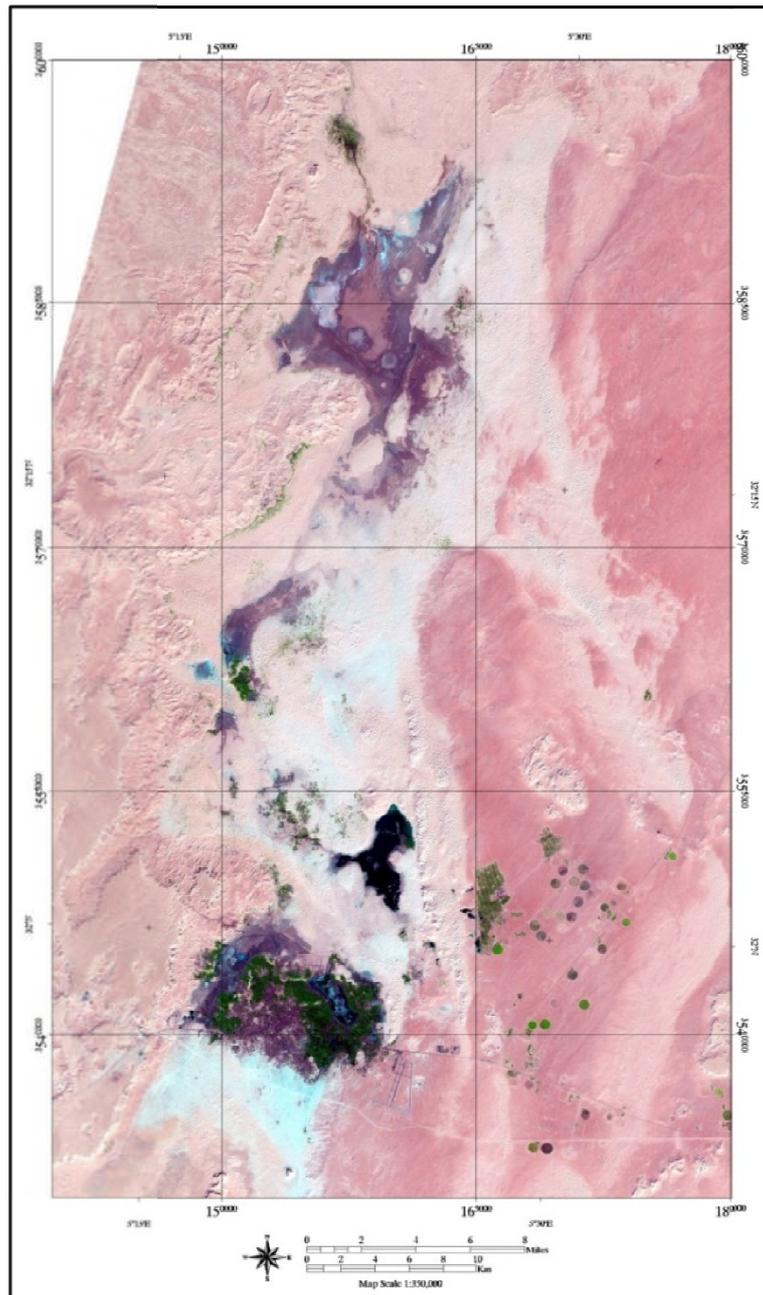


Fig.III.03: Composition colorée à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE de l'image ETM+ de Landsat du 20/12/2000 (région de Ouargla).

Cette composition colorée présente une zone humide assez importante dans le désert. Elle est représentée par des Chotts et des Sebkhass montrant des couleurs allant du noir au marron foncé sans ignorer la couleur cyan. La couleur noire recouvre les zones de dépressions correspondant aux endroits d'affleurements de la nappe phréatique. Cette dernière est alimentée essentiellement par les eaux d'irrigation et les eaux usées. Plus en s'éloignant des sources d'alimentation de la nappe, ces dépressions deviennent graduellement marron foncé selon le degré de l'humidité, de la lithologie et de la profondeur du niveau statique de la nappe phréatique. Le cyan clair se trouve dans le lit de l'oued loin de l'alimentation de surface. Ces dépressions sont découvertes et exposées aux vents du sable asséchant et masquant partiellement les efflorescences salifères. Ces surfaces salifères deviennent cyan foncé en allant vers les bordures des surfaces d'eau évaporée, formant ainsi des croutes gypseuses et salifères.

La cuvette d'Ouargla est constituée par les différentes classes suivantes :

- a. Eau* : rassemble les surfaces d'eau et englobe donc le Chott Ain Beida et Sebkheth Oum Raneb. Cette classe absorbe la quasi-totalité du rayonnement solaire (*Fig.III.04*).

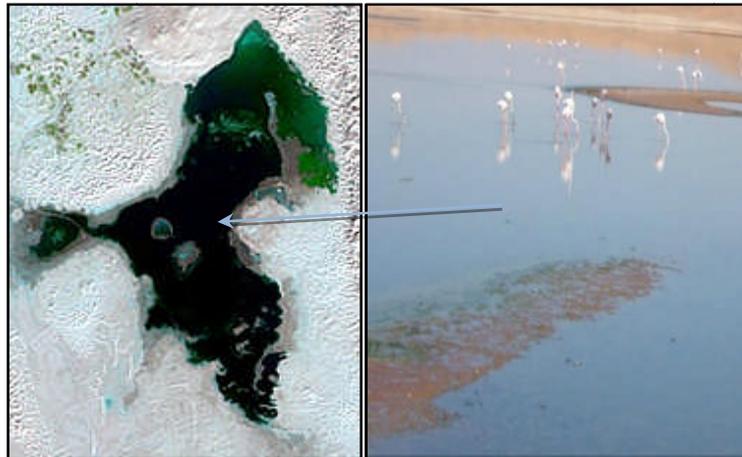


Fig.III.04: Eau (sebkhet Oum Raneb)

- b. Palmeraie* : se situe à proximité des agglomérations, représentées essentiellement par des palmiers dattiers et des cultures intercalaires (*Fig.III.05*).

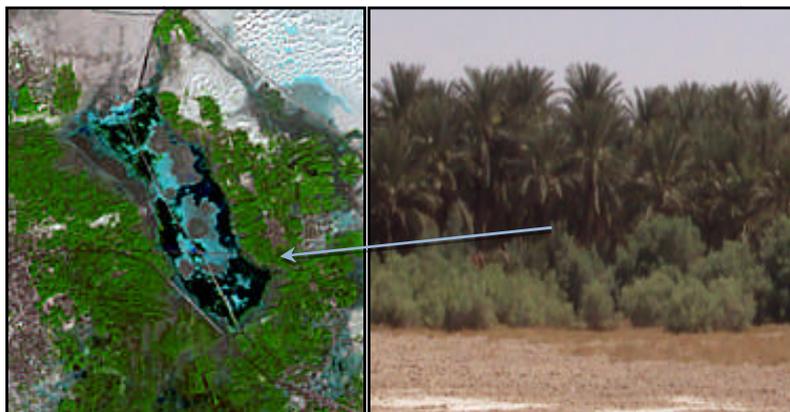


Fig.III.05: Palmeraie (Chott Ain Beida)

- c. **Sol humide** : représente des dépressions où le niveau statique de la nappe phréatique est plus proche de la surface du sol (sebkhet Oum Raneb, Chott Ain Beida, sebkhet sefioune,...)(Fig.III.06).

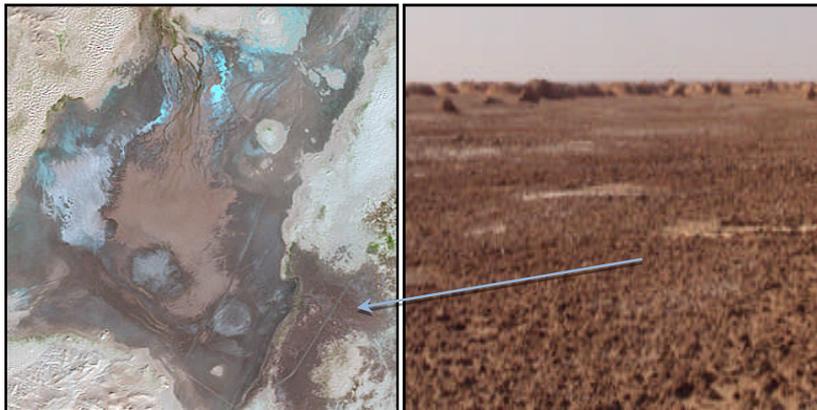


Fig.III.06: Sol humide (sebkhet sefioune)

- d. **Sol salé humide**: occupe les périphéries des surfaces d'eau. Il représente essentiellement les dépôts et les encroutements gypseux et salifères, sous l'effet d'une évaporation intense dans un tel climat(Fig.III.07).

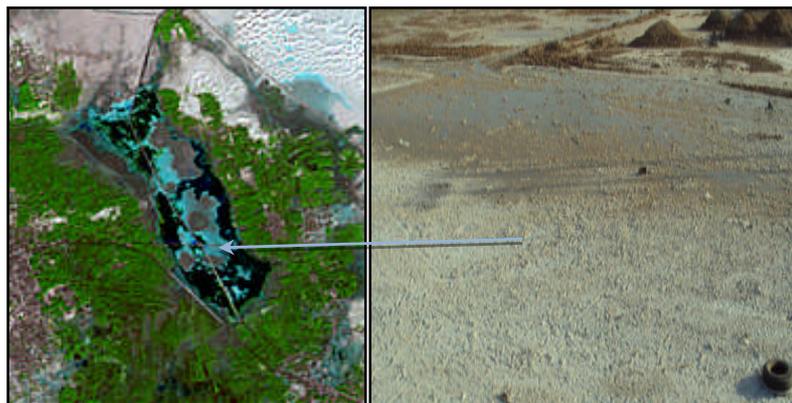


Fig.III.07 : Sol salé humide (Chott Ain Beida)

- e. **Sol salé sec** :

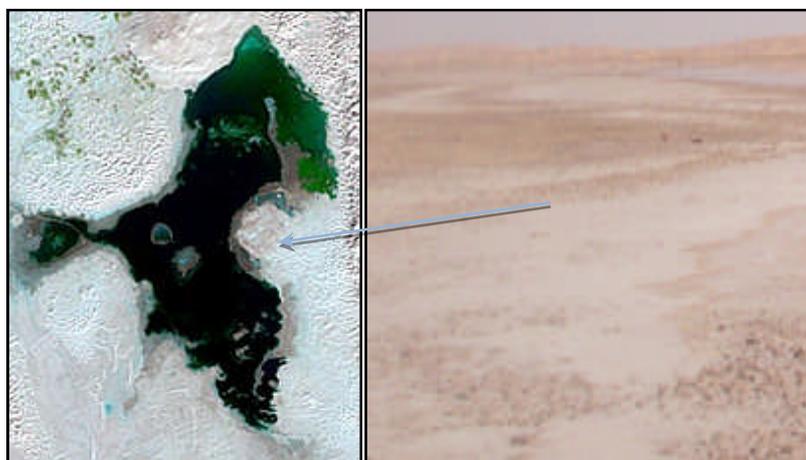


Fig.III.08 : Sol salé sec (sebkhet Oum Raneb)

Il rassemble les dépressions éloignées des sources d'alimentations anthropiques (eaux d'irrigation et eaux usées). L'influence des vents de sable couvre partiellement les efflorescences des cristaux de sels formées dans la frange capillaire (Fig.III.08).

- f. **Grés rouge** : le plus dominant, représenté par deux aspects : le premier sous une forme érodée par l'effet du vent dominant dans la rive Est de l'oued. Le second est représenté par le plateau gréseux dans la rive ouest (Fig.III.09).

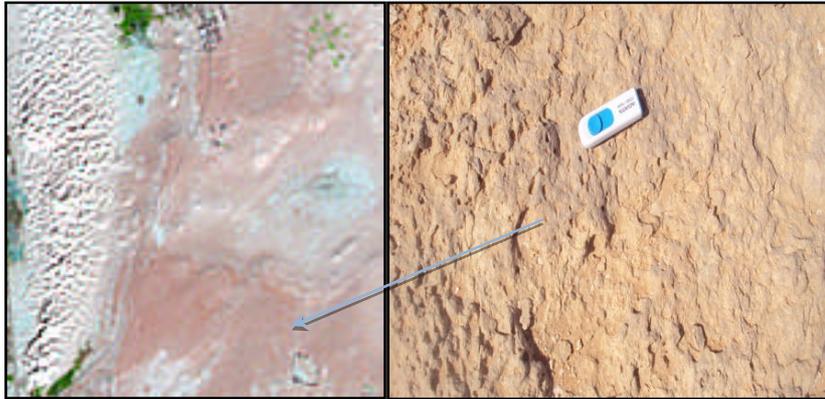


Fig.III.09 : Grés rouge (Sidi Khouiled)

- g. **Sable** : représente la zone où le sable recouvre le sol avec de grandes épaisseurs sous forme de dunes d'une part ; et par des faibles épaisseurs sous forme de sols sableux d'autre part (Fig.III.10).

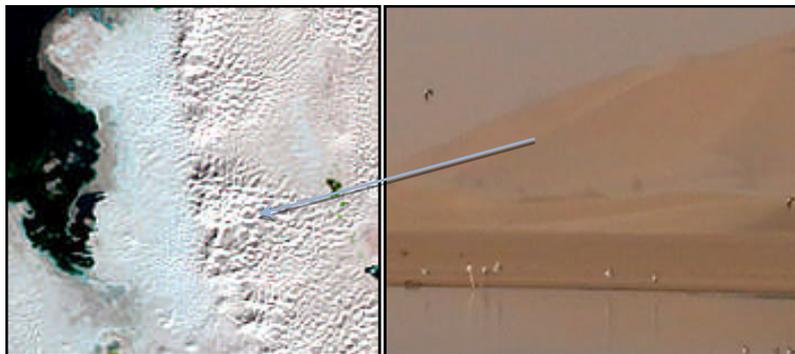


Fig.III.10 : Sable (sebkhet Oum Raneb)

2.2-La région d'El-Kala

Pour la région d'El-Kala la composition colorée a été réalisée aussi à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE (Fig.III.11), On utilise habituellement cette combinaison comme première image pour permettre la visualisation des différents aspects du paysage : lacs, mer, oueds, végétations ... etc. Cette combinaison est représentative pour la zone d'étude et proche des couleurs réelles surtout pour la distinction de la végétation de couleur verte, les sables et les grès respectivement du beige au marron foncé, le noir et le bleu pour la mer et les lacs.

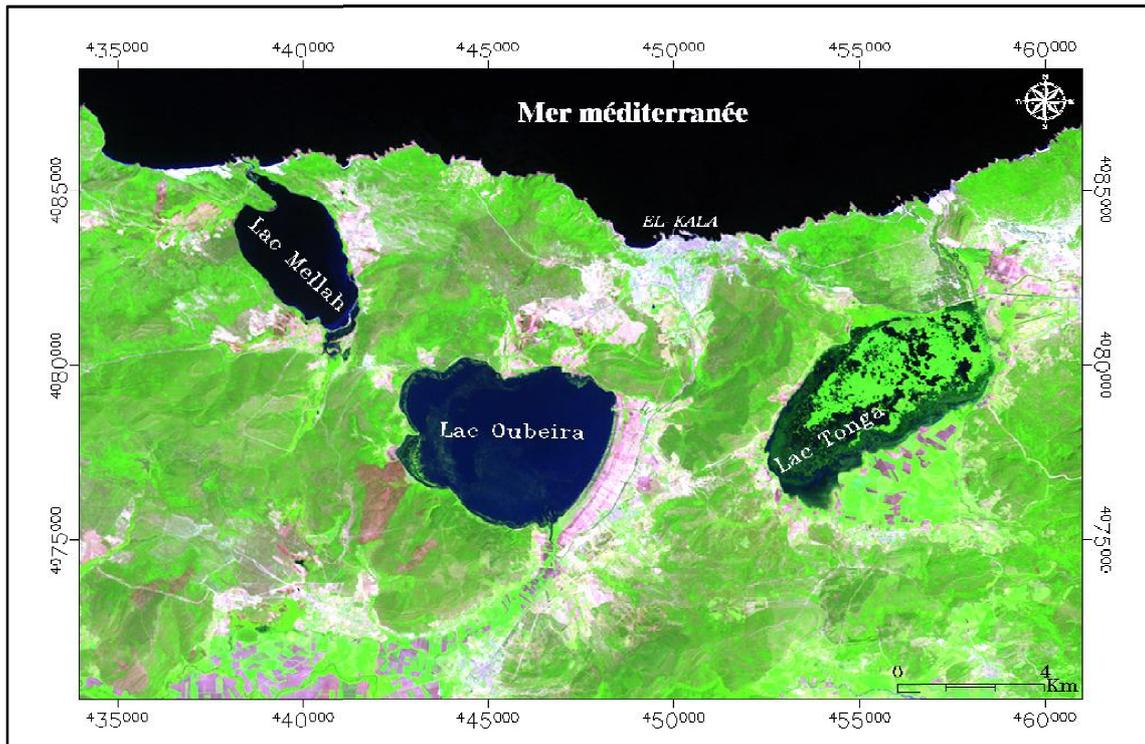


Fig.III.11: Composition colorée à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE de l'image ETM+ de Landsat du 03/05/2000 (région de El Kala).

En générale cette composition colorée présente une très importante zone humide dans la région d'El-Kala. Elle est représentée par des lacs montrant des couleurs variés du noir qui présente les eaux profondes (mer et lagune) et le bleu présente les lacs moins profonds. Elle est aussi représentée par un taux de végétation élevé, ce taux est expliqué d'abord par le climat caractérisé par une forte pluviosité. Le sable est présent dans la région des lacs surtout dans le lac Oubeira, lac Mellah ainsi que les plages.

La zone des lacs d'El-Kala est constituée par les différentes classes suivantes :

- a. **Eau** : rassemble les dépressions marécageuses et englobe donc le lac Tonga, Obéira et Mellah ainsi que la mer méditerranée. Cette classe absorbe la quasi-totalité du rayonnement solaire(Fig.III.12).



Fig.III.12 : Eau (Lac Mellah)

- b. Végétation :** elle occupe une grande surface dans la région d'El-Kala. Elle est représentée essentiellement par des forêts, des végétaux aquatiques (roseaux) et des cultures (Fig.III.13).

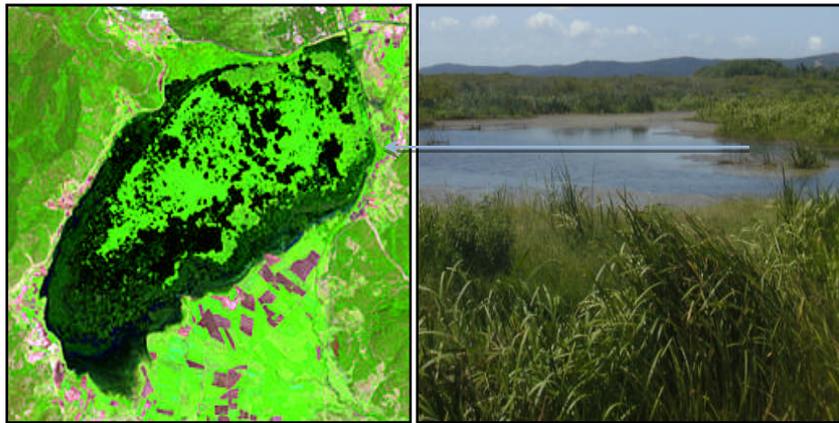


Fig.III.13: Végétation (Lac Tonga)

- c. Sol humide :** représente des surfaces couvertes par les végétaux avec des eaux plus proches de la surface du sol (lac Tonga, lac Oubeïra et lac Mellah ...) (Fig.III.14).

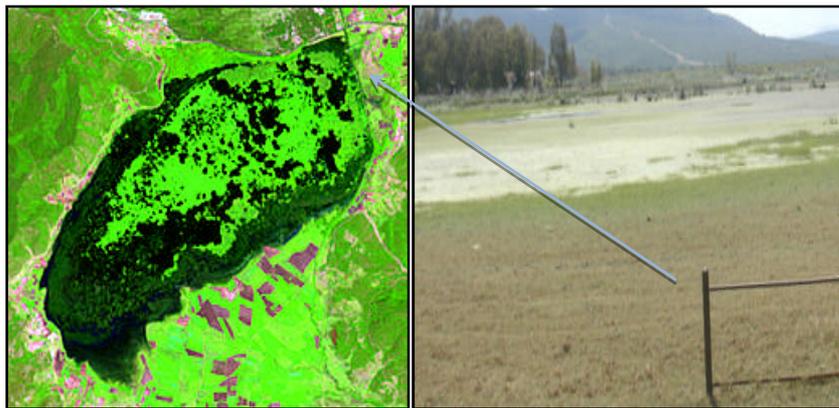


Fig.III.14: Sol humide (Lac Tonga)

- d. Sol argileux :** sont des affleurements des argiles qui reposent sur des bancs de grès numidien réparties dans la région d'El-Kala et surtout à côté des lacs (lac Tonga, lac Oubeïra et lac Mellah) (Fig.III.15).

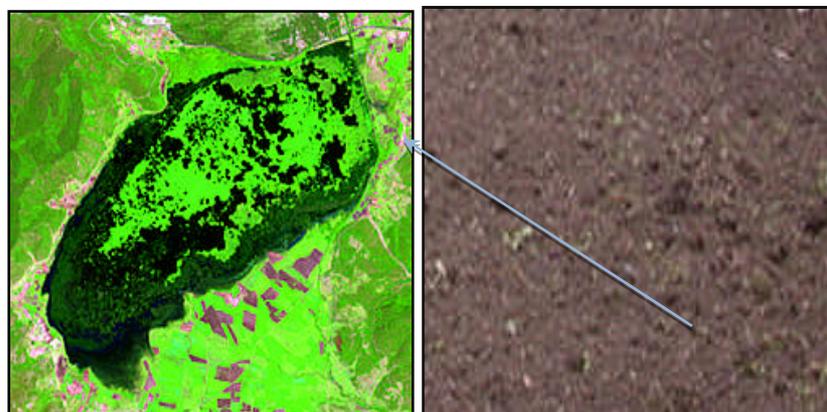


Fig.III.15 : Sol argileux (Lac Tonga)

- e. **Sable** : représente la zone où le sable recouvre le sol par des faibles épaisseurs sous forme de sols sableux. se situe à proximité des lacs Oubeïra et Mellah(Fig.III.16).

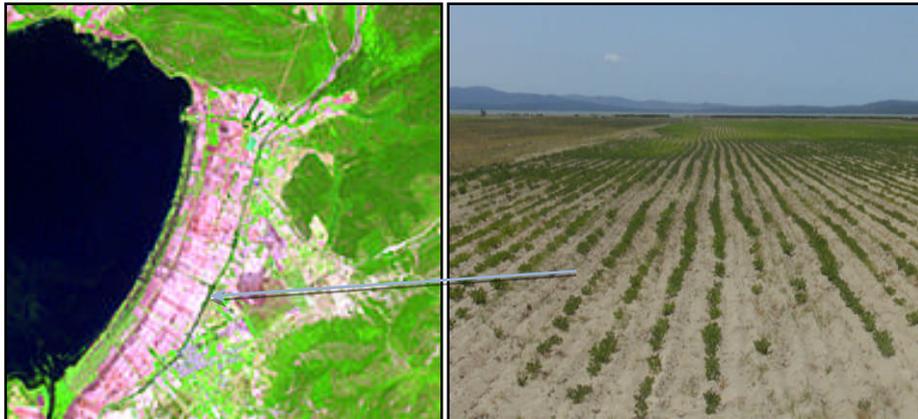


Fig.III.16: Sable (lac Oubeïra)

- f. **Grés Numidien**: il est présent sous forme des massifs répartis dans la région.il est couvert dans des endroits par les végétaux(Fig.III.17).



Fig.III.17: Grés Numidiens (Lac Mellah)

3- Interprétation de la classification non supervisée

3.1- La région d'Ouargla

- La classification par IsoData des bandes spectrales pour l'identification des zones humides salées dans la région d'Ouargla, montre dans un premier temps 20 classes et sous-classes, fait ressortir une répartition des zones humides relativement conforme à la réalité du terrain. Le logiciel ENVI, nous a aidés à visualiser la répartition de chaque couleur séparément et par conséquent de vérifier rapidement et efficacement les limites de chaque classe. Les résultats obtenus peuvent être améliorés en regroupant certaines les sous-classes des grés rouges, des sables, des sols humides,...).Ainsi nous obtenons sept classes significatives. Mais ces classes (Fig.III.18) montrent des confusions principalement entre la palmeraie et l'eau d'une part et entre le sol humide et l'agglomération d'autre part.

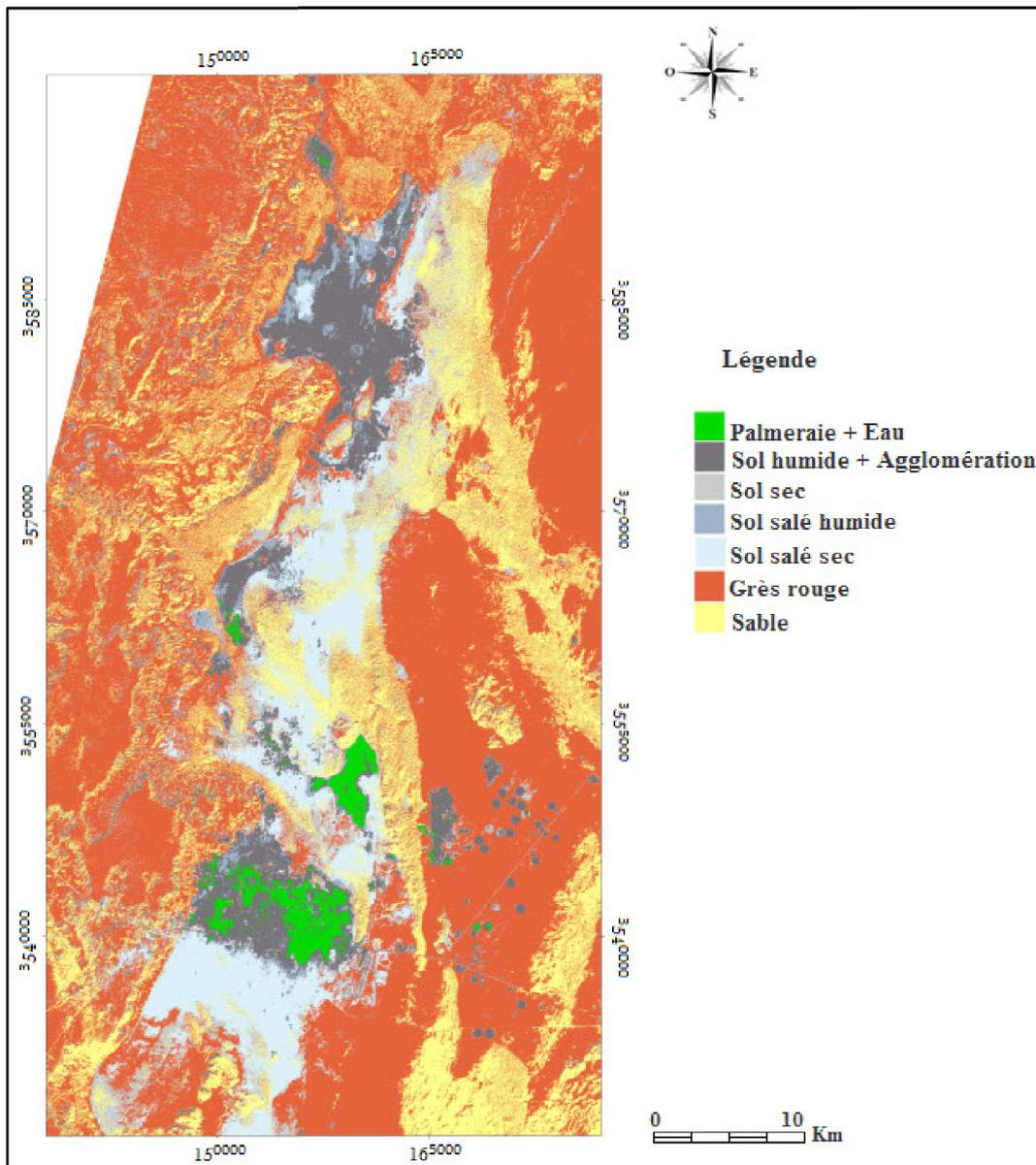


Fig.III.18 : Carte de classification non supervisée (région d'Ouargla).

3.1.1-La classification par IsoData à partir des néo-canaux

Vu les confusions entre les classes des zones humides, une seconde classification par IsoData a été réalisée à partir d'autres bandes, chose qui nécessite la création des néo-canaux en minimisant ces confusions.

a-Indice de végétation (NDVI)

Cet indice permet de mettre en évidence les zones de végétation. Il a permis d'obtenir une visualisation où la végétation apparaît en blanc pour les fortes activités chlorophylliennes

$$NDVI = (PIR - ROUGE) / (PIR + R)$$

Dans la région de Ouargla la présentation de l'image NDVI montre que la végétation sous une couleur blanche située à côté des zones humides (surtout chott Ain Beida par les palmerais) et aussi a Hassi ben abdellah (Fig.III.19).

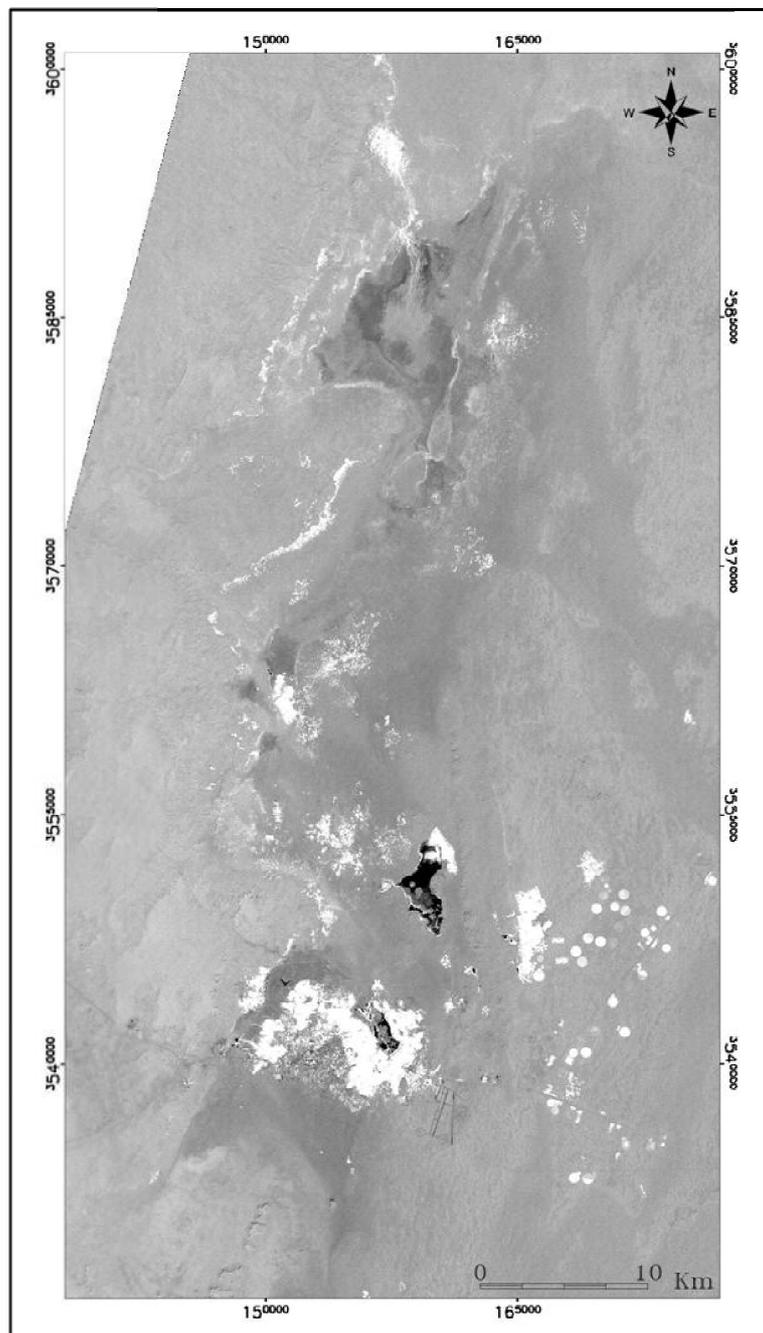


Fig.III.19 : Image de l'indice NDVI (région de Ouargla).

Dans la région d'El-Kala la présentation de l'image NDVI a surtout mis en évidence une région végétale s'étendant de l'Est vers l'Ouest au comportement quasiment uniforme, on observe une mosaïque de comportement végétal selon leur densité, elle change de couleur blanche où la couverture végétale est dense au couleur grise claire pour la couverture végétale moins dense (Fig.III.20). Le lac de Tonga caractérisé par une couverture végétale très important par rapport lac Mellah et Oubeïra.

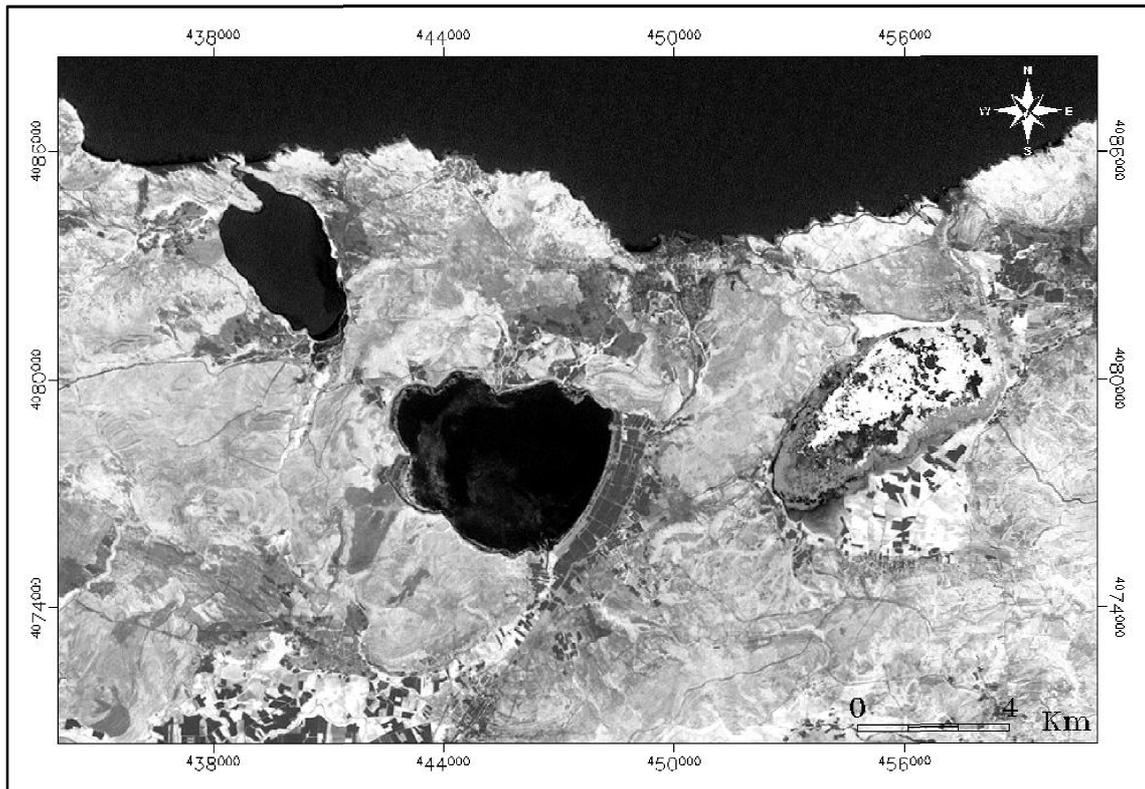


Fig.III.20: Image de l'indice NDVI (région de El-Kala).

b- Indice de brillance (IB)

L'indice de brillance permet principalement de mettre en évidence les éléments stériles (non chlorophylliens) comme l'urbain et les sols nus.

On calcule l'indice classiquement utilisé : $IB = (R^2 + PIR^2)^{0,5}$

Au niveau de la région de Ouargla L'indice de brillance permet de mieux définir les zones des sols salées sec et sols salées humides de couleur blanche au couleur grise claire pour les sols nus(Fig.III.21).

L'image de l'indice de brillance dans la région d'El-Kala a permis surtout de localiser ou déterminer les zones de présence des sables (Fig.III.22).

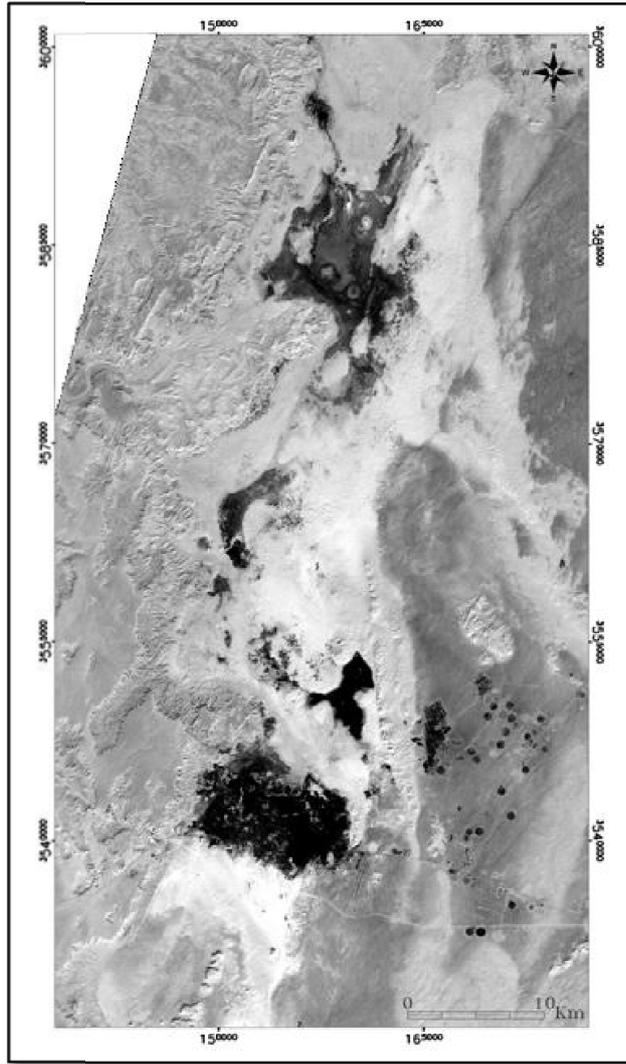


Fig.III.21 : Image de l'indice de brillance IB (région de Ouargla).

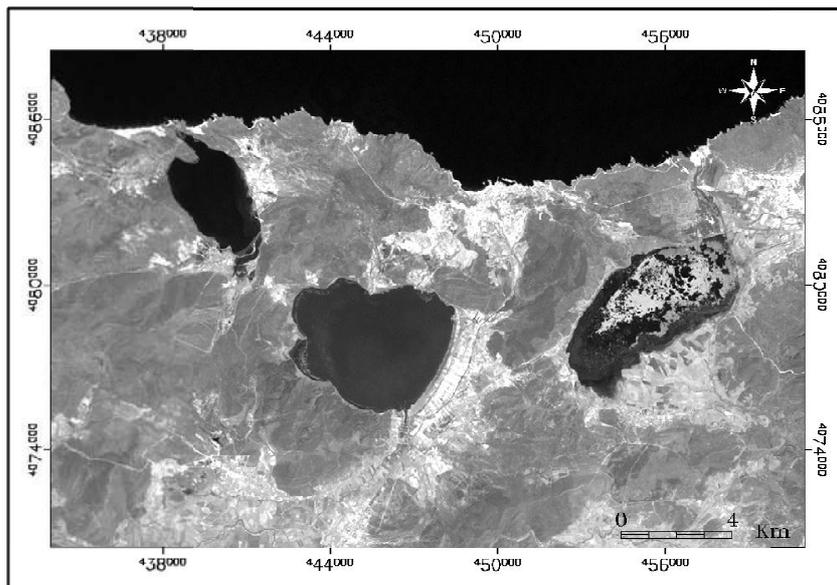


Fig.III.22 : Image de l'indice de brillance IB (région de El-Kala).

3.1.2-Interprétation de la classification non supervisée par les néo-canaux (NDVI, IB et ACP)

Après des essais de classifications en combinant les différentes bandes et néo-canaux, la meilleure classification est obtenue à partir du traitement des néo-canaux (NDVI, IB et ACP) de l'image Landsat ETM+ du 20/12/2000 (Fig.III.23).

La classification non dirigée par IsoData des néo-canaux pour l'identification des zones humides dans la région d'Ouargla, montre une nette distinction entre l'eau et la végétation par contre la confusion entre l'agglomération et le sol humide persiste encore.

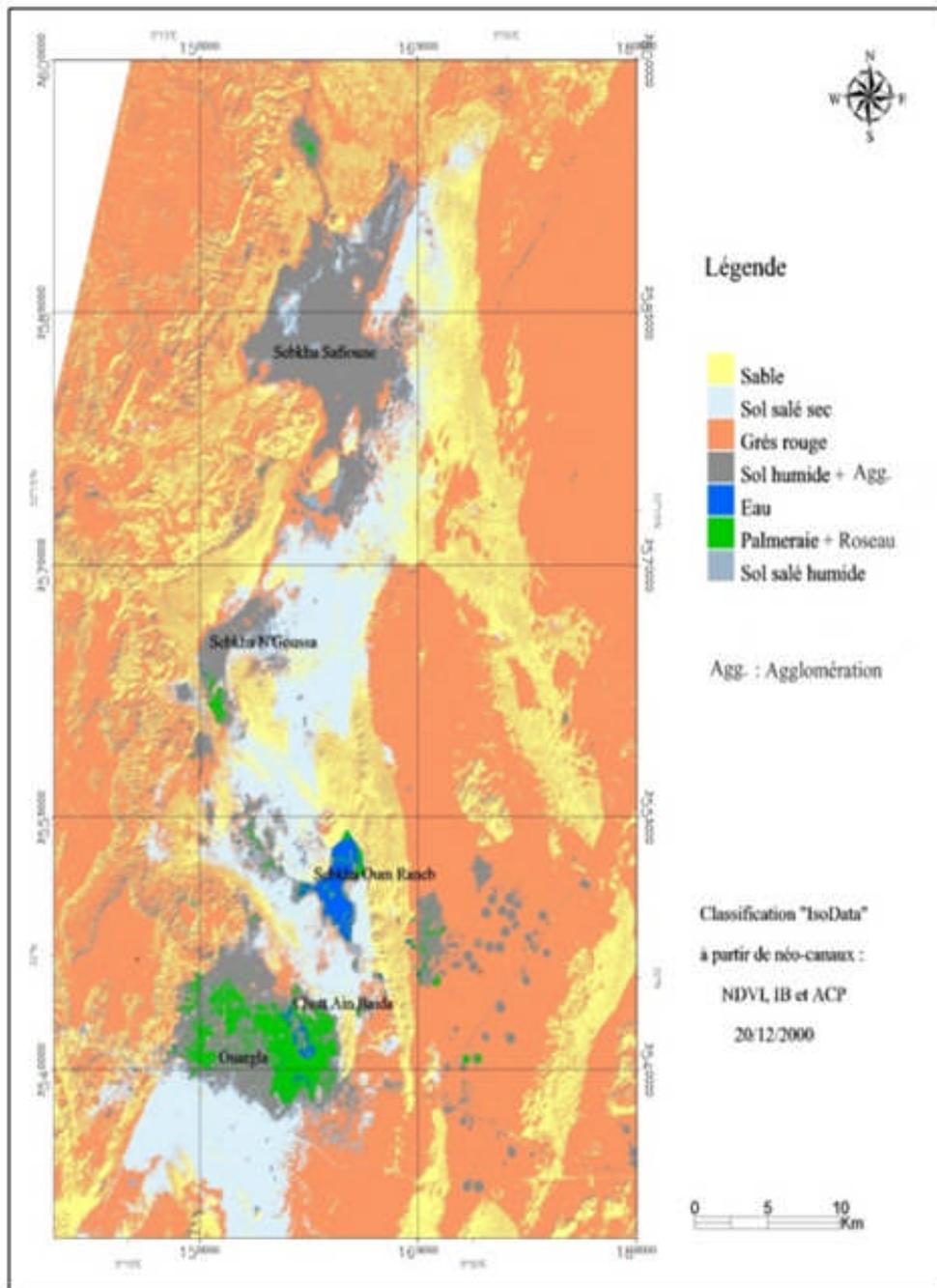


Fig.III.23 : Carte de classification IsoData à partir des néo-canaux (NDVI, IB et ACP)

3.2-La région d'El-Kala

La classification par IsoData des bandes spectrales pour l'identification des zones humides dans la région d'El Kala, donne de bons résultats.

Le résultat, obtenu dans un premier temps avec 20 classes et sous-classes, fait ressortir une répartition des zones humides conforme à la réalité du terrain. Après interprétation certaines classes correspondent à des sous classes. Les résultats obtenus peuvent être améliorés en regroupant les classes de végétation, du sol humide et d'argile. Ainsi nous obtenons dix classes significatives.

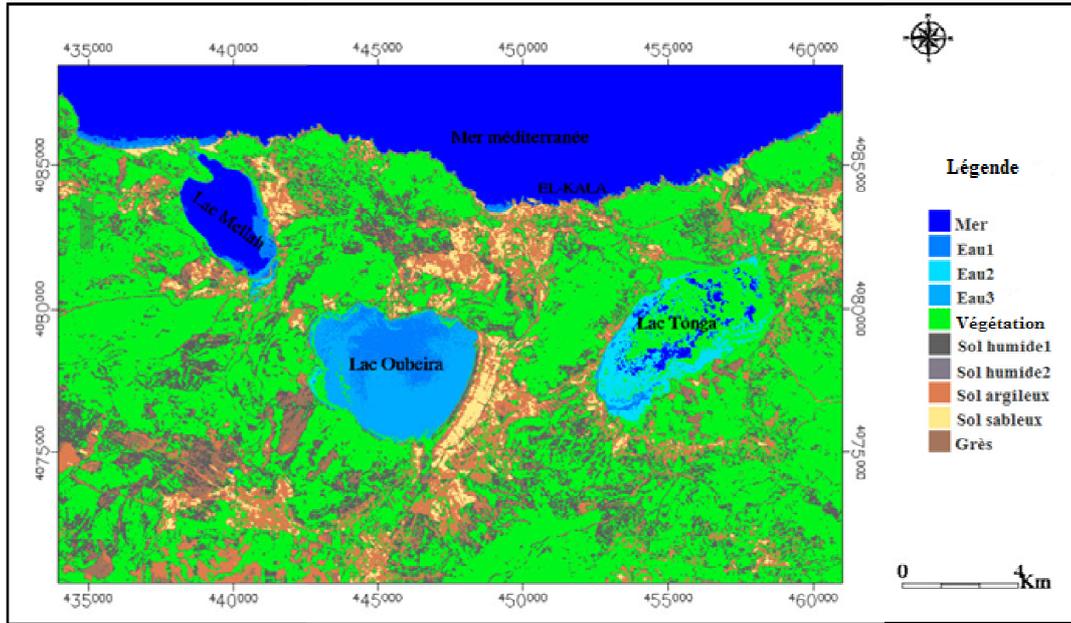


Fig.III.24 : Carte de classification non supervisée (région d'El Kala).

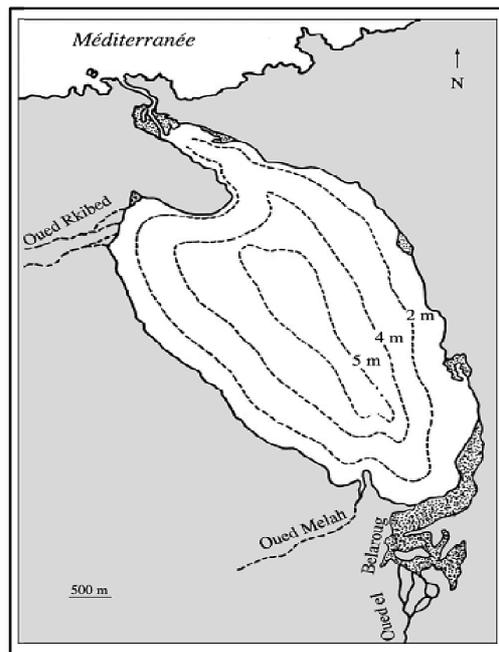


Fig.III.25 : Carte bathymétrie du lac El-Mellah (Branes, 2009)

Les résultats obtenus par la classification non supervisée ont servi à dresser la carte d'occupation du sol (Fig.III.24). On remarque que la couverture végétale occupe une grande partie de la surface totale de la région d'El-Kala. Les trois lacs El Mellah, Oubeïra et Tonga apparaissent clairement dans la carte par leurs surfaces d'eau. La couleur de l'eau dans les trois lacs est différente selon la profondeur et la turbidité des eaux.

L'eau du lac Mellah a une couleur bleu foncée qui ressemble à l'eau de mer, cela est dû qu'il est plus profond par rapport aux deux autres lacs, sa profondeur peut atteindre 5 à 6m. Cette explication est confirmée par l'apparition d'une autre couleur bleu peu clair par rapport au premier dans les berges du lac (Fig.III.25).

Dans le lac d'Oubeïra, on remarque l'apparition de deux classes de couleur bleu de l'eau. La plus foncée est localisée surtout dans le centre du lac (Eau1) qui caractérise la partie relativement profonde. L'autre la moins profonde est en bleu claire (Eau3) (Fig.III.26).

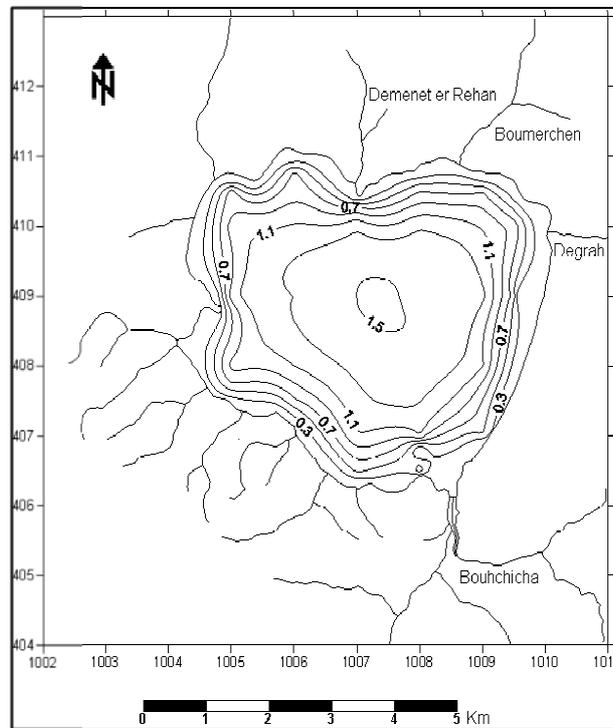


Fig.III.26: Carte bathymétrie du lac Oubeïra (Alayat, 2009)

Le lac Tonga est envahie dans la plus part de sa surface par la végétation qui apparaît par la couleur verte. On observe une couleur bleu dégradée en allant du centre vers les bordures, dû à la variation de la profondeur et le type du fond du lac ainsi que la turbidité de l'eau.

4- Interprétation de la classification supervisée (Maximum de vraisemblances)

La classification supervisée s'effectue par une démarche différente que celle de non supervisée, donc les classes thématiques sont définies en premier lieu, puis par extraction de leurs signatures spectrales respectives, on détermine les propriétés de classes spectrales auxquelles seront affectés les pixels (Caloz et Pointet, 2003). La classification est réalisée

par le maximum de vraisemblances (Maximum Likelihood). Nous avons défini 9 classes selon la thématique de notre travail et à l'aide de la reconnaissance des échantillons sur terrain, cela nous a aidés à effectuer la phase d'apprentissage par positionnement des différents échantillons (ROI) sur l'image. Vu la diversité des signatures spectrales dans certaines classes, nous étions obligé d'augmenter le nombre de sous-classes jusqu'à 15 afin de minimiser le nombre de pixels rejetés. Enfin nous avons regroupé quelques les sous-classes suite à leurs reconnaissances en une seule classe, pour revenir au nombre désigné auparavant de 9 classes.

Pour valider notre classification, une matrice de confusion (Confusion Matrix) est construite en mettant respectivement sur les lignes et sur les colonnes les données de référence et la classification, ce qui permet de calculer les résultats suivants :

- ✓ Précision globale (OverallAccuracy) = **91.61%**.c'est le rapport du nombre de pixels bien classé sur le nombre total de pixels.
- ✓ Coefficient Kappa = **0.8726**.Il correspond à une autre mesure de précision de la classification, et varie de 0 à 1.

L'analyse de la matrice de confusion (*Tableau n° III.1 et III.2*) apporte des informations sur les confusions entre classes. Ce qui indique que toutes les classes ont montré une bonne précision (>70%).

L'erreur de déficits (*Tableau n° III.3*) montre que la majorité des classes n'ont pas ou ont de très faibles erreurs (de 0% à 6.28%) sauf que pour la classe d'agglomération montre que 15 pixels (19.48%) appartenant à l'échantillon de référence (77 pixels) ont été affectés à d'autres classes : 1 pixels pour les grés rouges (1.15%), 4 pixels pour la Palmeraie (5.47%), 10 pixels pour le sol humide (13.36%). La précision pour le réalisateur est donc 62/77 soit 80.02%.

L'erreur d'excédents (*Tableau n° III.3*) montre généralement de très faibles erreurs allant de 0 à 8.82% mais les deux classes suivantes montrant des erreurs allant de 15.79% à 29.73%.

- ✓ Les grés rouges montrent que 89 pixels appartenant à l'échantillon de référence (276 pixels) ont été reçues de la classe des sables, soit (29.73%). La précision pour l'utilisateur est donc 183/276 soit 70.23%.
- ✓ Le sol humide montre que 24 pixels appartenant à l'échantillon de référence (152 pixels) ont été reçues des classes suivantes : 10 pixels pour l'agglomération (13.36%) et 8 pixels de la Palmeraie (3.57%), 5 pixels du sol salé sec (2.65%), 1 pixels des grés rouges (0.29%). La précision pour le l'utilisateur est donc 128/152 soit 84.21%.

Ces résultats sont bons malgré les faibles confusions entre certaines classes, qui donnent une bonne précision globale. On constate qu'il existe une excellente correspondance entre la cartographie et les observations de terrain.

Tableau n° III.1 : Vérité terrain en Pixels (GroundTruth)

Echantillon \ Classes	Agglo.	Eau	Roseau	Grés rouge	Palm.	Sable	Sol salé humide	Sol salé sec	Sol humide	Total
	Agglomération	62	0.00	0.00	0.00	02	0.00	0.00	0.00	04
Eau	0.00	120	01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	121
Roseau	0.00	0.00	33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33
Grés rouge	01	0.00	0.00	183	0.00	88	0.00	0.00	0.00	276
Palmeraie	04	0.00	0.00	0.00	205	0.00	0.00	0.00	0.00	209
Sable	0.00	0.00	0.00	06	0.00	437	0.00	01	01	445
Sol salé humide	0.00	0.00	01	0.00	01	0.00	164	02	02	170
Sol salé sec	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	02	06	107	0.00	114
Sol humide	10	0.00	0.00	01	08	0.00	05	0.00	128	152
Total	77	120	35	190	216	530	175	110	135	1588

Tableau n° III.2 : Vérité terrain en % (GroundTruth)

Echantillon \ Classes	Agglo.	Eau	Roseau	Grés rouge	Palm.	Sable	Sol salé humide	Sol salé sec	Sol humide
	Agglomération	80.02	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00
Eau	0.00	100	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Roseau	0.00	0.00	94.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grés rouge	1.15	0.00	0.00	96.53	0.00	17.39	0.00	0.00	0.00
Palmeraie	5.47	0.00	0.00	0.00	95.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Sable	0.00	0.00	0.00	3.18	0.00	82.48	0.00	1.15	0.36
Sol salé humide	0.00	0.00	1.71	0.00	0.51	0.00	93.98	1.54	1.50
Sol salé sec	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	3.37	97.31	0.12
Sol humide	13.36	0.00	0.00	0.29	3.57	0.00	2.65	0.00	95.21
Total	100.00	100.00	100.00						

Tableau n° III.3 : Examen des résultats d'après l'utilisateur et le réalisateur (maximum de vraisemblance)

Classes	Erreur d'excédents (Commission)		Erreur de déficits (Omission)		Précision pour le réalisateur (Producer Accuracy)		Précision pour l'utilisateur (User Accuracy)	
	Pixels	%	Pixels	%	Pixels	%	Pixels	%
Agglomération	06/68	8.82	15/77	19.48	62/77	80.02	62/68	91.18
Eau	01/121	0.83	0/120	0.00	120/120	100.00	120/121	99.17
Roseau	0/33	0.00	02/35	2.60	33/35	94.44	33/33	100.00
Grés rouge	89/276	29.73	07/190	3.68	183/190	96.53	183/276	70.23
Palmeraie	04/209	1.91	11/216	5.10	205/216	95.01	205/209	98.08
Sable	08/455	1.76	93/530	17.55	437/530	82.48	437/445	98.20
Sol salé humide	06/170	3.53	11/175	6.28	164/175	93.98	164/170	96.47
Sol salé sec	07/114	6.14	03/110	2.73	107/110	97.31	107/114	93.86
Sol humide	24/152	15.79	07/135	5.18	128/135	95.21	128/152	84.21

La classification supervisée par le maximum de vraisemblances a été validée avec succès dans l'identification des zones humides salées saharienne. La carte obtenue à partir de l'analyse de cette classification avec une légende typique du terrain étudié.

Le résultat de la classification par le maximum de vraisemblance montre que l'eau et le roseau sont très bien classés, la Palmeraie et le Sable sont bien classés (Fig.III.27). La méthode de classification a affecté 29.73% des sable aux grés rouges, vu la même

composition minéralogique ainsi les grès sont couverts dans quelques endroits, exposés aux vents dominants, par les sables ayant des différentes épaisseurs de quelques centimètres à une dizaine de mètres. Le sol humide a été affecté à la classe d'Agglomération, du Sol salé humide et du Sol salé sec vu leurs ressemblances en matière de signature spectrale .Ces classes sont des sols sableux sélectionnées sur la base des taux d'humidité et de salinité.

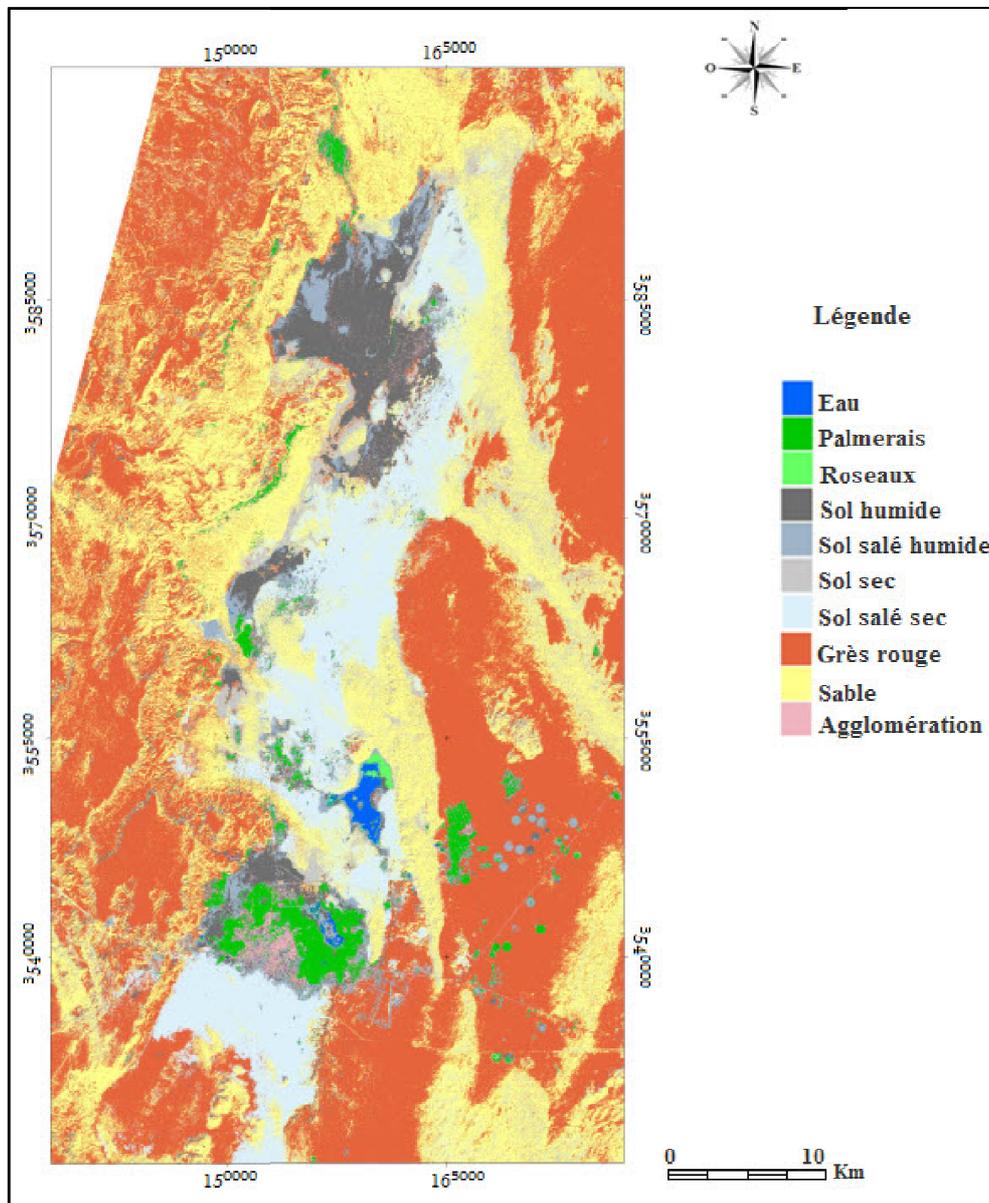


Fig.III.27 : Carte de classification supervisée de la région d'Ouargla (Maximum Likelihood)

4.1-Classification supervisée de sebkhet Oum Raneb

Une classification supervisée a été faite dans la région de sebkhet Oum Raneb, basée sur la connaissance de terrain.

A partir des échantillons de vérification (différents de ceux de l'apprentissage), la validation de la classification par le maximum de vraisemblance a donné une bonne

précision globale (OverallAccuracy) de **92.05%**(rapport du nombre de pixels bien classé sur le nombre total de pixels). Le coefficient Kappa = **0.8824**.

Ce qui indique que toutes les classes ont montré une bonne précision.

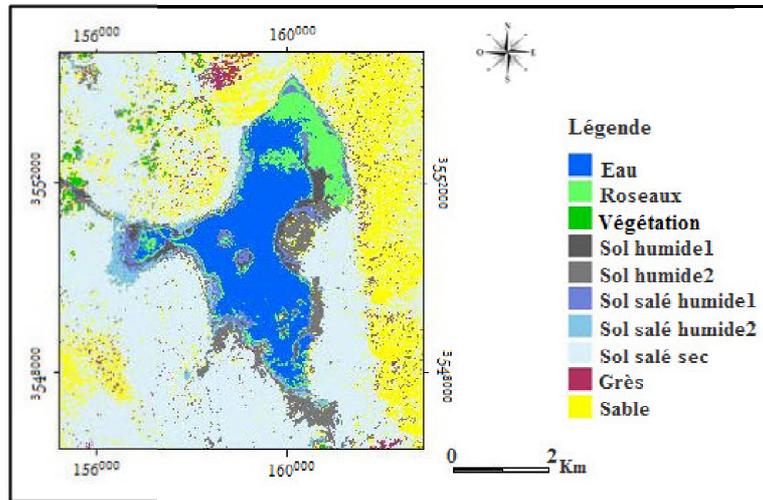


Fig.III.28 : Carte de classification supervisée de sebkhet Oum Raneb.

Ces classes sont des sols sableux sélectionnées sur la base des taux d'humidité et de salinité(Fig.III.28)

A partir du degré d'humidité et de salinité, La classification montre qu'il existe deux types de sols de différents taux d'humidités et de salinités.

Le sol humide1est caractérisé par une humidité très élevée avec une couleur gris foncé par rapport au sol humide2d'une couleur gris moins foncé selon l'épaisseur de la zone non saturée

Le sol salé humide1est caractérisé par une croute salifère avec une humidité élevé par contre le sol salé humide2 montre une croute salifère avec une faible humidité.

Le sol salé sec occupe une grande partie dans la région de sebkhet Oum Raneb. Il est caractérisé par sa couleur cyan claire et par la présence des différents sels (beige, brunet blanc).Donc l'évaporation est l'agent principal qui contrôle les sols salé au niveau du sebkhet Oum Raneb soit humide ou sec.

Dans la carte la surface d'eau apparaît clairement. A côté de la sebkha, on remarque l'importante présence des dunes de sable.

La sebkha offre toute une gamme de croutes salines en surfaces (Hamdi-Aissa,2001). Ces surfaces salées sont caractérisés par une activité géochimique très élevées et qui sont apparu par les formations des croutes et des efflorescences salines des différents sels beige, blanc et brun.

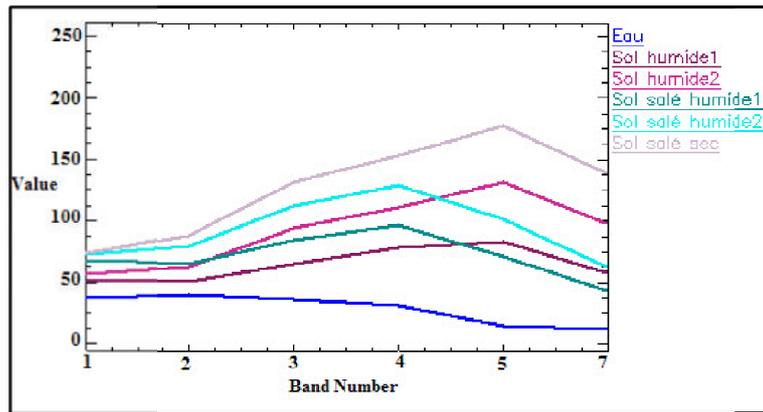


Fig.III.29 : Courbes de réflectance spectrale (chott Ain Beida).

Dans la courbe de réflectance spectrale (Fig.III.29) on peut bien distinguer la différence d'humidité entre les différents sols.

4.2- Classification supervisée de Chott Ain Beida

Cette classification caractérise les différentes classes des sols de Chott Ain Beida.

La validation de la classification adonné une bonne précision globale (OverallAccuracy) de **93.75%**et le coefficient Kappa = **0.9164**. Ce qui indique que toutes les classes ont montré une bonne précision.

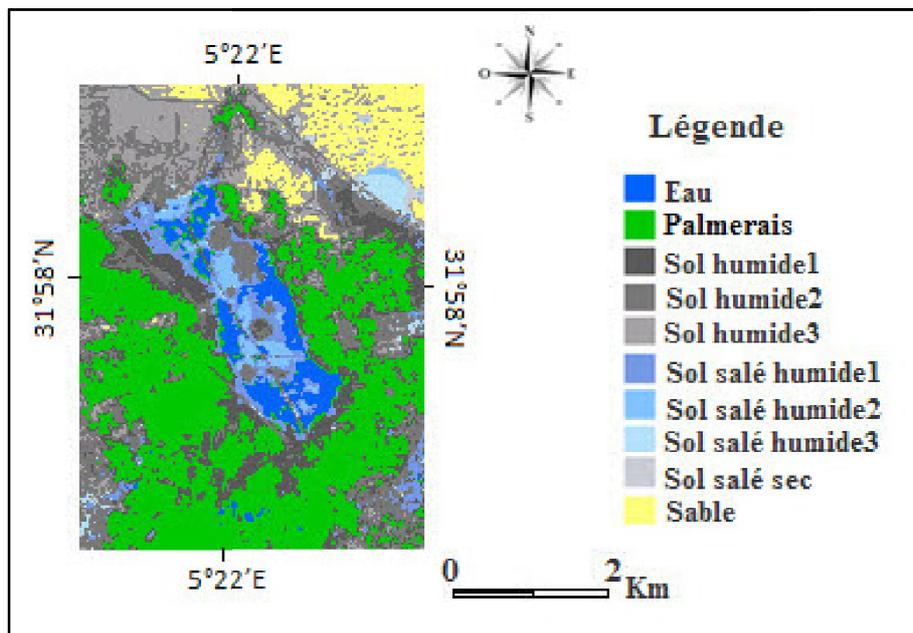


Fig.III.30 : Carte de classification supervisée du chott Ain Beida.

Dans cette image(Fig.III.30) la classification est basée sur l'humidité et la salinité des sols. Elle montre qu'il existe trois classes des sols humides et trois classes des sols salés humides.

Le sol humide1 est caractérisé par une humidité très élevée avec une couleur gris foncé par rapport aux deux autres sols humides montrant une dégradation de la couleur vu la diminution du taux d'humidité.

Le sol salé humide1 est localisé surtout au centre et à la périphérie du chott qui est caractérisé une croute salifère montrant une couleur cyan allant du foncé au clair selon le taux d'humidité. Ce la est dû à l'évaporation intense provoquant l'évaporation des eaux du chott formant ces croutes salifères.

Aux alentours du chott il existe une couverture végétale qui se caractérise surtout par des palmiers dattiers. Cette dernière présente une source d'humidité des sols par les eaux d'irrigation.

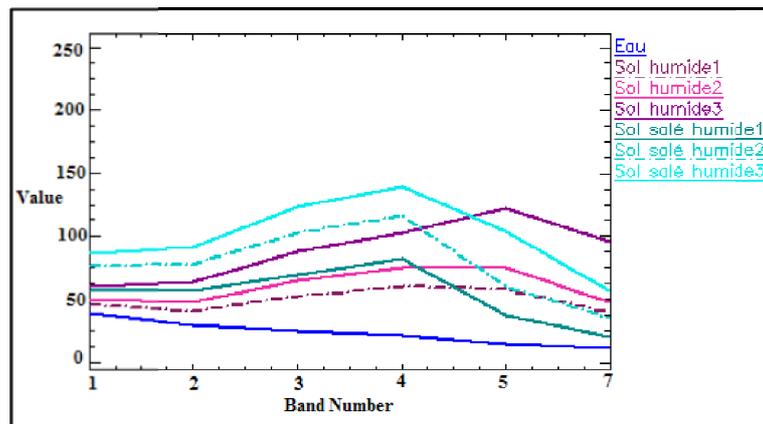


Fig.III.31 : Courbes de réflectance spectrale (chott Ain Beida).

A partir de la courbe de réflectance spectrale (Fig.III.31) on peut confirmer qu'il ya une nette différence entre les trois sols humides. Cette différence d'humidité est très claire surtout au niveau des bandes infrarouge.

CONCLUSIONS

L'identification des zones humides dans la région d'Ouargla et El-Kala a été menée tout d'abord à partir de l'interprétation visuelle de la composition colorée des bandes spectrales (MIR, PIR et Rouge) qui a servi à l'apprentissage et à la validation des classifications.

La classification non supervisée par IsoData des zones humides dans la région d'El-Kala a donné des bons résultats avec une bonne visualisation des différentes profondeurs des eaux de la région ainsi que les différents paysages. Dans la région d'Ouargla la classification non supervisée IsoData a permis d'identifier correctement 7 classes mais elle montre une confusion entre l'eau et la palmeraie d'une part et entre le sol humide et l'agglomération d'autre part. Ces confusions ont été réduites par la classification (IsoData), avec des néo-canaux (ACP, NDVI et IB) qui a éliminé la confusion entre l'eau et la palmeraie, par contre la confusion entre le sol humide et l'agglomération persiste encore. Globalement la classification non supervisée a été validée avec succès dans l'identification des zones humides dans la région d'El-Kala.

La classification supervisée par le maximum de vraisemblance a été validée avec une bonne précision globale supérieure à 91%, induisant une excellente correspondance entre la cartographie et les observations de terrain. La classe Eau et la classe Roseau sont très bien discriminés. Le périmètre irrigué, la palmeraie et le sable sont bien classés. Les sables ont été affectés, en partie, aux grés rouges. Ce dernier recouvert par les sables dans les endroits exposés aux vents dominants. Le sol humide présente quelques confusions négligeables avec les classes : Agglomération, Sol salé humide et Sol salé sec, en raison de leur signature spectrale proche. Ces classes sont des sols sableux sélectionnées sur la base des taux d'humidité et de salinité.

La classification supervisée a été validées avec succès pour l'identification des zones humides salées surtout au niveau de sebkhet Oum Raneb et chott Ain Beida.

La classification supervisée du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb montre que les surfaces salées sont caractérisées par une activité géochimique très élevées et qui sont apparu par les formations des croutes et des efflorescences salines des différents sels beige, blanc et brun.

Les courbes de réflectance spectrale ont confirmé et montré les différents taux d'humidité des sols soit pour les sols salées humides ou pour les sols humides au niveau de sebkhet Oum Raneb et chott Ain Beida.

Chapitre VII

ETUDE HYDROGEOCHIMIQUE

CHAPITRE VII

ETUDE HYDROGEOCHIMIQUE**1- Région d'Ouargla**

L'évolution géochimique des zones humides (chott et des sebkhas) dans la région d'Ouargla est régie principalement par la composition chimique des sources d'alimentation. La formation des minéraux évaporitiques dans le chott ou sebkha est conditionnée par plusieurs paramètres : les concentrations des éléments dans les zones humides et dans les eaux d'alimentation, le pH, la conductivité, l'alcalinité, la minéralisation totale et aussi les facteurs climatiques qui jouent un rôle très important dans l'évolution géochimique surtout par le facteur de température, sans oublier le facteur anthropique.

1.1- Température des eaux

D'une façon générale, la température des eaux superficielles varie en fonction de la température extérieure (l'aire).

Les températures enregistrées varient entre 20 et 30°C au niveau du chott Ain Beida, et entre 16 et 29°C dans sebkhet Oum Raneb.

1.2- Conductivité et Salinité

Généralement pour tous les points de prélèvement montrent que la conductivité est très élevée particulièrement dans les bordures du chott d'Ain Beida et de sebkhet Oum Raneb, ce qui signifie que la salinisation est trop forte, cette salinité est visible par les dépôts de sels résultants de l'évaporation excessive des eaux.

La conductivité électrique des eaux du chott Ain Beida varie entre 15,4mS/cm et 270,3mS/cm, et varie entre 17,8mS/cm et 320,6mS/cm dans sebkhet Oum Raneb (Fig.III.31).

La salinité du chott Ain Beida varié entre 11‰ et 43,2‰, et allant de 10,6‰ à 45,6‰ dans sebkhet Oum Raneb.

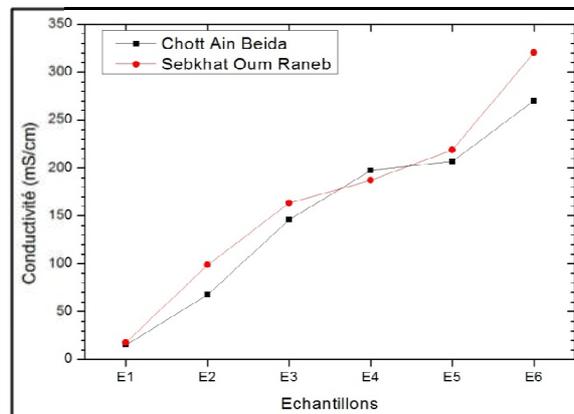


Fig.III.31 : Variation de la conductivité électrique dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.3- Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs du pH dans tous les échantillons varient généralement entre 7,85 et 9,2 dans les eaux du chott Ain Beida. Elles varient entre 7,88 et 8,25 dans sebkhet Oum Raneb.

Le pH le plus élevé est mesuré au niveau du chott Ain Beida où il atteint 9,2, cela est expliqué par l'effet des eaux usées dans le chott (Fig.III.32).

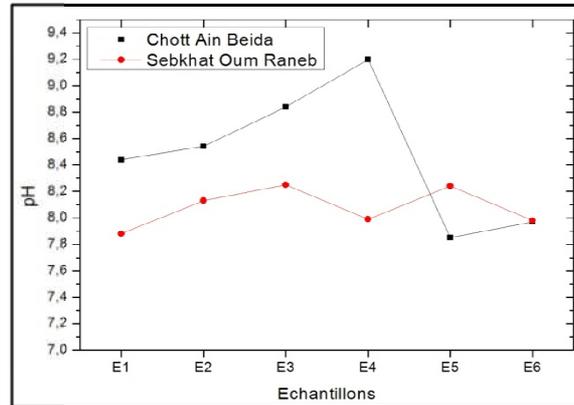


Fig.III.32: Variation du pH dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.4- Les éléments majeurs

1.4.1- Chlorures (Cl⁻)

L'eau contient presque toujours les chlorures, mais en proportion variables. Il provient de la dissolution des sels naturels par lessivage de terrains.

La teneur du Chlorure est variable d'une station à une autre, dans les saumures et les sels. Ainsi les valeurs obtenues dans le chott Ain Beida sont variables entre 18262.6mg/l à 121560mg/l dans les saumures. Dans sebkhet Oum Raneb les valeurs varient entre 24358.1mg/l et 176912.5mg/l (Fig.III.33).

Lors de l'évaporation des eaux on remarque une augmentation de la concentration, qui résulte de la sur-saturation des eaux au chlorure ce qui favorise la précipitation des sels minéraux chlorurés à savoir la Halite (NaCl), la Sylvite (KCl) et l'Hydrophilite (CaCl₂).

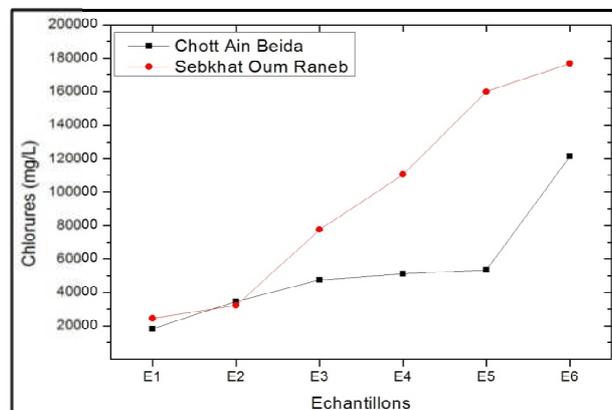


Fig.III.33 : Variation du Chlorure dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.4.2- Sulfate (SO₄²⁻)

Les sulfates sont toujours présent dans les eaux naturelles, leur présence dans le l'eau résulte de la solubilité relativement faible du sulfate de calcium (CaSO₄) des roches gypseux.

Dans les échantillons des eaux du chott Ain Beida les sulfates varient entre 5218 mg/l et 56800 mg/l. dans le sebkhet Oum Raneb la concentration des sulfates varient entre 7730mg/l et 49500mg/l(Fig.III.34).

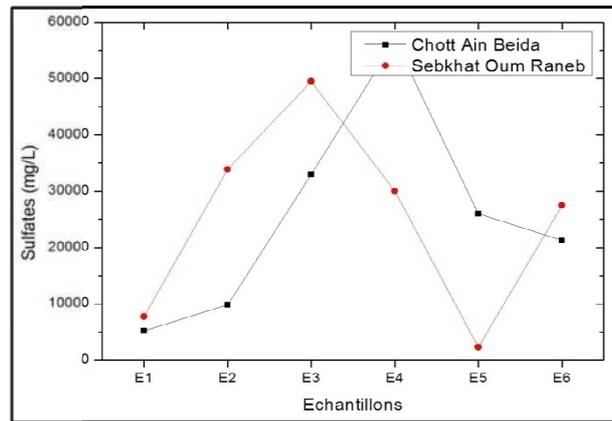


Fig.III.34 : Variation de SO₄²⁻ dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.4.3- Bicarbonate (HCO₃⁻)

Les bicarbonates se présentent avec des teneurs plus ou moins faibles comparativement avec les autres éléments majeurs.

D'après les résultats obtenus (Fig.III.35) la teneur du HCO₃ dans le chott Ain Beida varie entre 148.66 mg/l et 1159 mg/l. dans sebkhet OumRaneb les bicarbonates varient entre 266.11 mg/l et 3750 mg/l.

La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres :

- Tension de CO₂ dissous.
- Température de l'eau.
- Concentration de l'eau en sel et la nature lithologique des terrains.

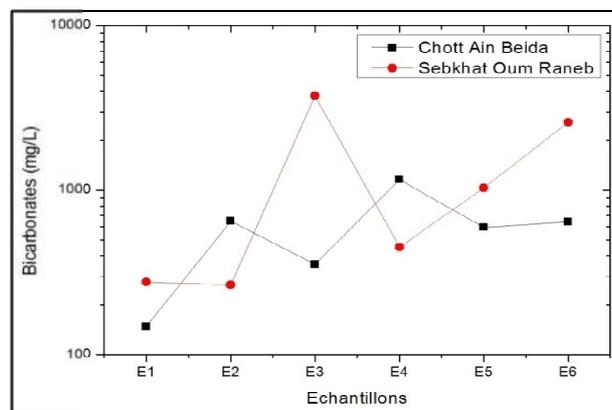


Fig.III.35 : Variation de HCO₃⁻ dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.4.4- Sodium (Na⁺)

Le Sodium est l'élément le plus dominant dans les cations. Les concentrations du Sodium sont variables d'une station à une autre. Dans les échantillons des eaux du chott Ain Beida les concentrations du sodium varient entre 13500 mg/l et 81250 mg/l. dans sebkhet Oum Raneb elles varient entre 21500 mg/l et 125000 mg/l (Fig.III.36).

Lors de l'évaporation des eaux on remarque une augmentation de concentration, cette augmentation résulte à la sur saturation des eaux en sodium qui favorise la précipitation des minéraux sodique à savoir la halite (NaCl), la mirabillite (Na₂SO₄, 10H₂O) ou la thenardite (Na₂SO₄, 7H₂O).

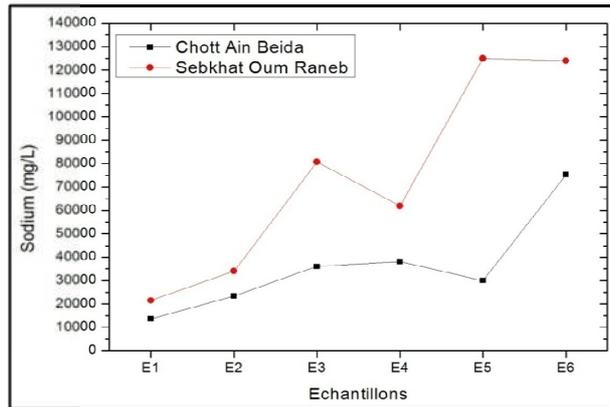
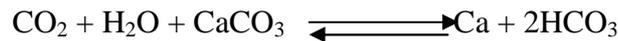


Fig.III.36 : Variation de Na⁺ dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.4.5- Calcium (Ca⁺⁺)

Plusieurs types des formations géologiques sont à l'origine de calcium parmi lesquelles nous citons : les roches carbonatées et les roches gypseuses. Les roches carbonatées libèrent le calcium par l'attaque des eaux en présence de gaz carbonique (CO₂) et par dissolution dans le cas des roches gypseuses.



Dans les échantillons des eaux du chott Ain Beida la concentration du calcium varie entre 561.05mg/l et 2540 mg/l. Dans sebkhet Oum Raneb elle varie entre 320.64 mg/l et 3767.52mg/l (Fig.III.37).

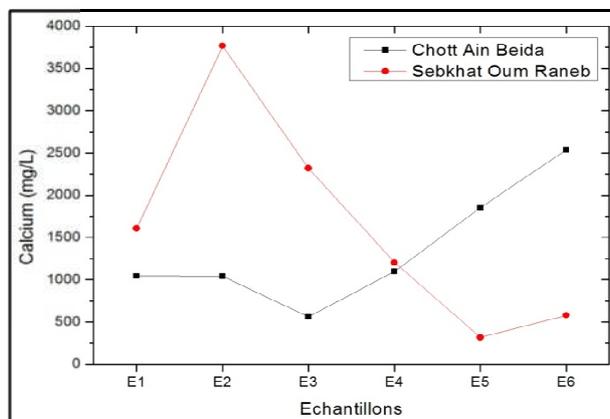


Fig.III.37: Variation de Ca⁺⁺ dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.4.6- Magnésium (Mg^{++})

L'ion de magnésium est présent dans l'eau par deux origines principales :

- La dissolution des formations dolomitiques en présence de l'acide carbonique.
- Il peut provenir également de la dissolution du $MgSO_4$ dans les terrains gypseux.

La concentration de magnésium dans chott Ain Beida varie entre 150.5 mg/l et 10172.57mg/l. Dans sebkhet Oum Ranebil varie entre 138.54mg/l et 5261 mg/l (Fig.III.38).

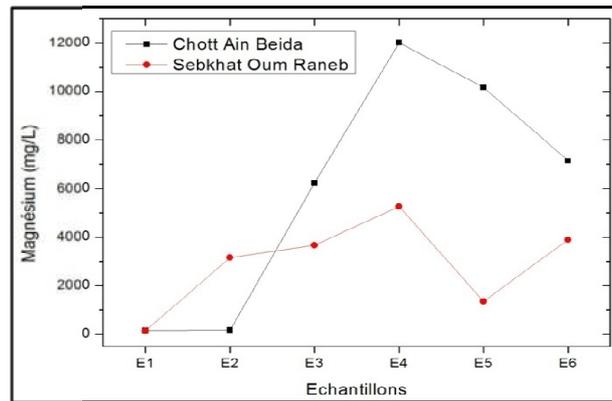


Fig.III.38: Variation de Mg^{++} dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.4.7- Potassium (K^+)

Les concentrations du potassium dans les différents échantillons sont très importantes, dans chott Ain Beida les teneurs varient entre 800mg/l et 7153 mg/l. Dans sebkhet Oum Raneb ils varient entre 1034 mg/l et 7500 mg/l (Fig.III.39).

Le potassium provient de l'altération des formations argileuses des alluvions quaternaire et de la dissolution des engrais chimiques retrouvée dans les eaux agricoles.

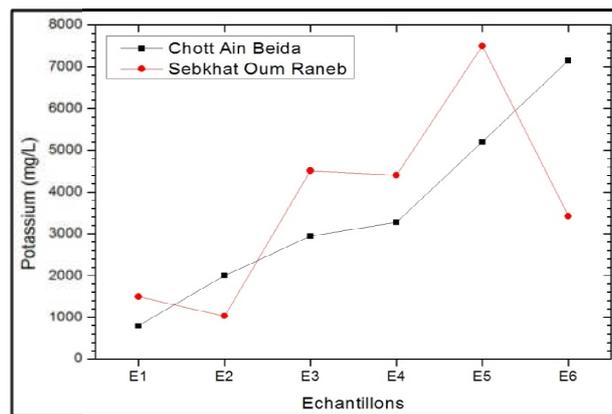


Fig.III.39: Variation de K^+ dans le chott de Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.5- Détermination des faciès chimique (diagramme de Piper)

La représentation des analyses chimique des eaux des chotts sur ce type de diagramme losangique de piper permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb.

La projection des eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb dans le diagramme de piper (*Fig.III.40*) permet de distinguer une seule famille :

- Chlorurée sodique avec une abondance de sodium ;

On peut conclure que les anions montrent une évolution dans le sens de l'augmentation des anions chlorurés et sulfatés, pour les cations ce sont les ions sodium et magnésium. La formule ionique dominante pour les eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb est la suivante :

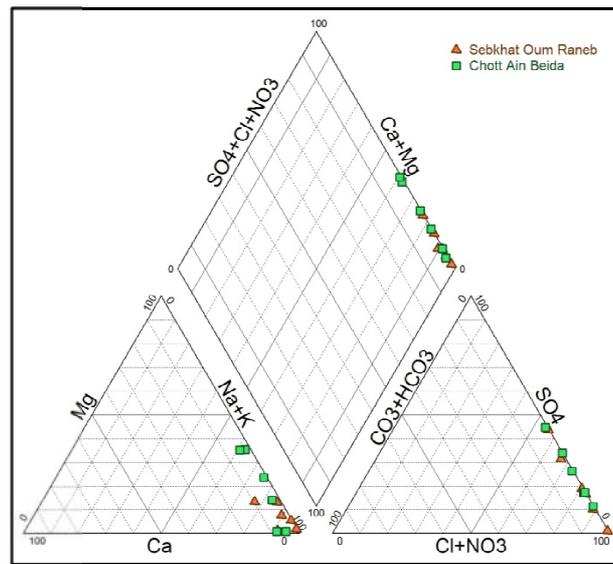
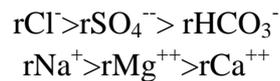


Fig.III.40: Diagramme de Piper du chott Ain Beida et sebkhat Oum Raneb.

1.6- Indice de saturation (IS) des eaux de chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb

Le calcul de l'indice de saturation fait par le logiciel Phreeqc, montrent que les eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb sont sursaturés vis-à-vis des minéraux carbonatés (Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Calcite (CaCO_3), et Aragonite (CaCO_3)) sont en phase de précipitation. Les minéraux sulfatés (Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et Anhydrite (CaSO_4)) dans les points AB1, AB2, AB3, OR1 sont à l'équilibre, par contre les points AB4, AB6, OR2, OR3, OR4 et OR6 sont sursaturés. Pour la Halite l'indice de saturation montre que les eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb sont sous-saturés par la Halite sauf les points AB6, OR5 et OR6 sont à l'équilibre (*Fig.III.41*).

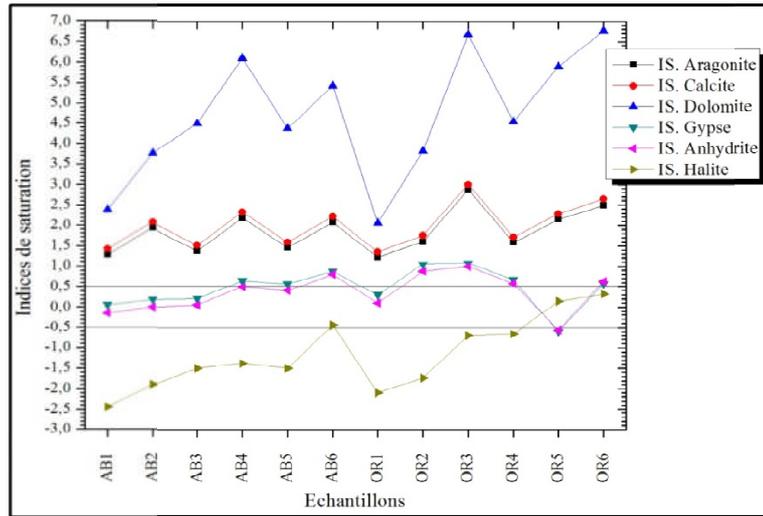


Fig.III.41: Variation de l'indice de saturation dans chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb.

1.7- Analyse des sels par diffractomètre de rayons X.

D'après les résultats d'analyse de diffractomètre par les rayons X (DRX) on a remarqué que la Halite c'est le sel le plus dominant dans chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb, puisque les éléments les plus dominant sont les chlorures et le sodium.

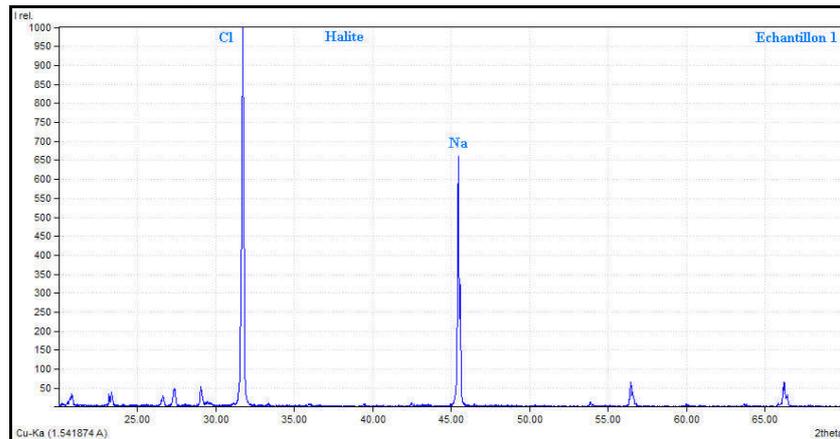


Fig.III.42: Le spectre de l'échantillon n°1 de la Halite dans chott Ain Beida

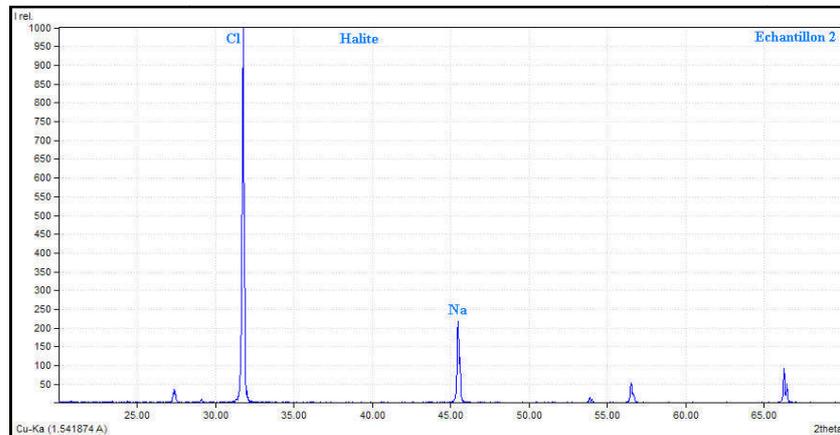


Fig.III.43: Le spectre de l'échantillon n°2 de la Halite dans chott Ain Beida

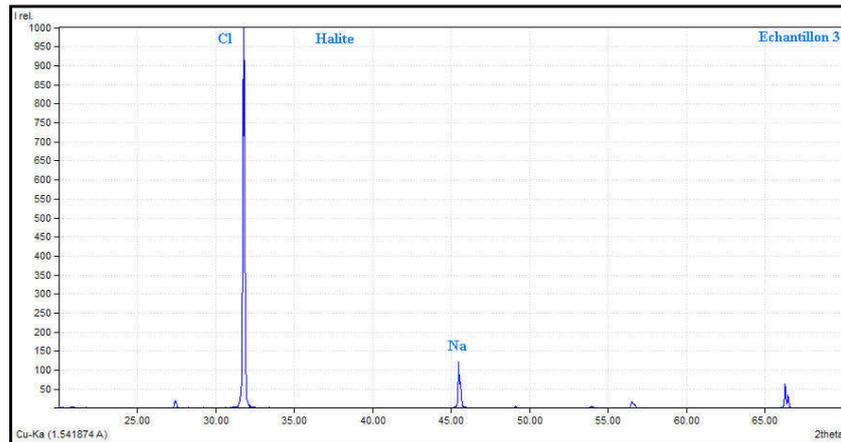


Fig.III.44: Le spectre de l'échantillon n°3 de la Halite dans sebkhet Oum Raneb.

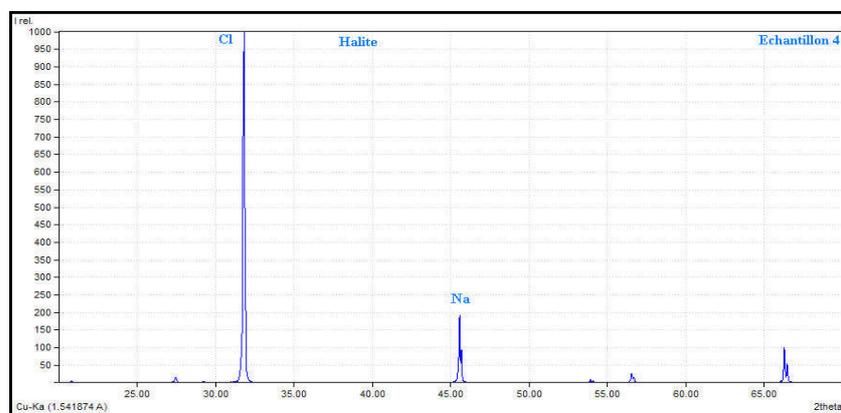


Fig.III.45: Le spectre de l'échantillon n°4 de la Halite dans sebkhet Oum Raneb.

2- Région d'El-Kala

La qualité des eaux des lacs et des marais est fonction des eaux de précipitation, de ruissellement et les eaux souterraines. Tant que ces eaux sont relativement stagnantes (calmes), donc il y a un phénomène biologique qui se développe (consommation de quelques sels minéraux par la faune et la flore existante), ce qui modifie la qualité des eaux selon les besoins et les types des organismes vivants.

Les sédiments Quaternaires fins du fond des lacs sont les produits d'altération et d'érosion du Numidien grés-argileux. Ils peuvent transmettre à l'eau lacustre une part des caractéristiques géochimiques.

2.1- La température

Les variations de la température ont des effets sur tous les paramètres physico-chimiques de l'eau et sur toutes les réactions chimiques et biochimiques de dégradations et de minéralisation des matières organiques.

L'augmentation de la température favorise également le développement d'algues et de végétaux aquatiques en liaison avec l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs.

La température des eaux oscille entre 4.7°C et 26.7°C, elle dépend de l'heure à laquelle a été faite la mesure.

2.2- La conductivité

Le lac Oubeïra et Tonga représente des cuvettes qui draine les eaux de surface. La stagnation de ses eaux favorise l'activité biologique.

La conductivité électrique des eaux du lac Oubeïra varie entre 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dans le lac Tonga varie entre 605 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.III.46).

Les eaux du lac Mellah sont caractérisées comme eaux de mer au niveau du grau reliant la mer au lac (C.E = 63650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et l'eau de la mer a une C.E = 69250 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En s'éloignant de la mer jusqu'au niveau de l'embouchure d'oued Mellah avec le lac C.E = 9560 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Djidel, 2004).

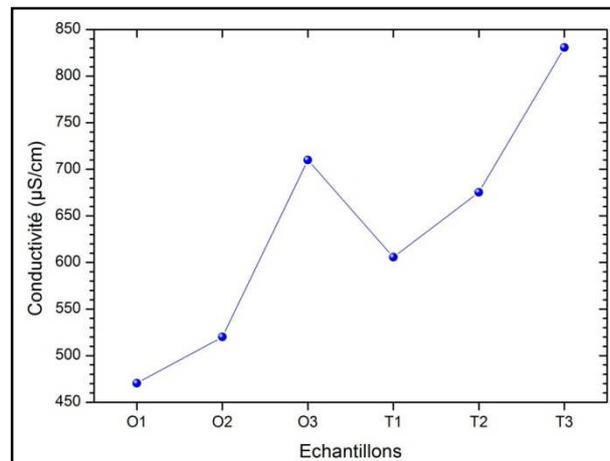


Fig.III.46 : Variation de la conductivité électrique dans les Lacs Oubeïra et Tonga.

2.3- Le pH

Les valeurs du pH dans tous les échantillons des eaux du lac Oubeïra et lac Tonga varient généralement entre 7.5 et 8.5 (Fig.III.47).

D'une manière générale les eaux de la région présentent un pH proche de la neutralité.

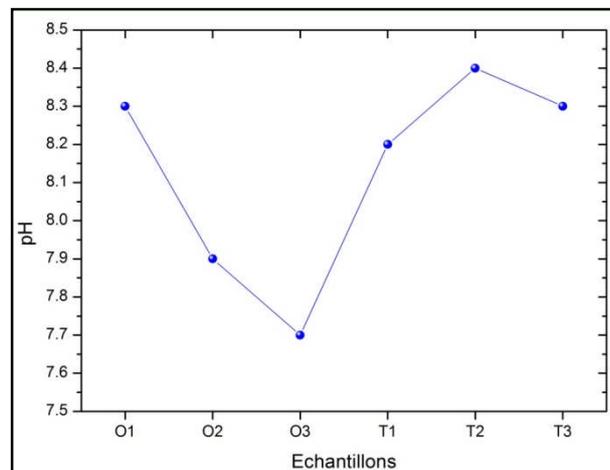


Fig.III.47 : Variation du pH dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2.4- La salinité

La salinité au niveau du lac Mellah est très élevée par rapport aux autres lacs à cause du contact direct avec l'eau de mer, elle varie entre 26,62‰ et 33,82 ‰ au cours de l'année dans les trois stations étudiées en raison du rythme des marées (Fig.III.48).

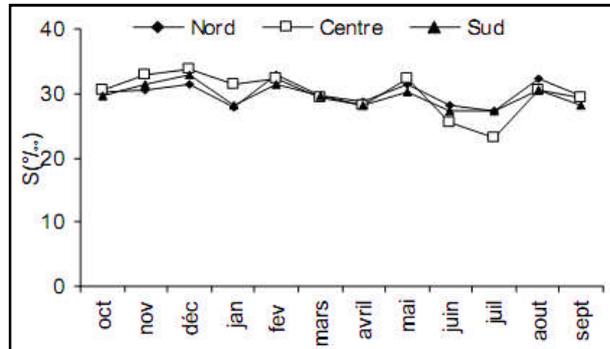


Fig.III.48: Variation de la Salinité durant l'année 2001 dans le lac Mellah (Branes, 2009).

2.5- Les éléments majeurs

2-5-1 Chlorures (Cl⁻)

L'origine des chlorures est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine. Ils proviennent aussi de la pollution anthropique et de l'évaporation intense qui provoque l'augmentation des concentrations en ions Cl⁻.

Le taux de Chlorure dans les eaux du Lac Oubeïra et Tonga varie de 110mg/l à 135mg/l (Fig.III.49).

Les chlorures restent l'élément dominant dans les eaux de la région.

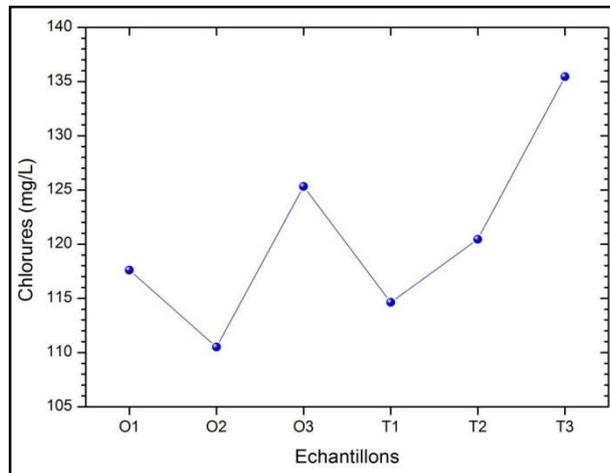


Fig.III.49 : Variation du Chlorure dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-5-2 Sulfate (SO₄²⁻)

Le taux du Sulfate dans les eaux du Lac de Oubeïra et Tonga varie de 31mg/l à 50.5mg/l (Fig.III.50).

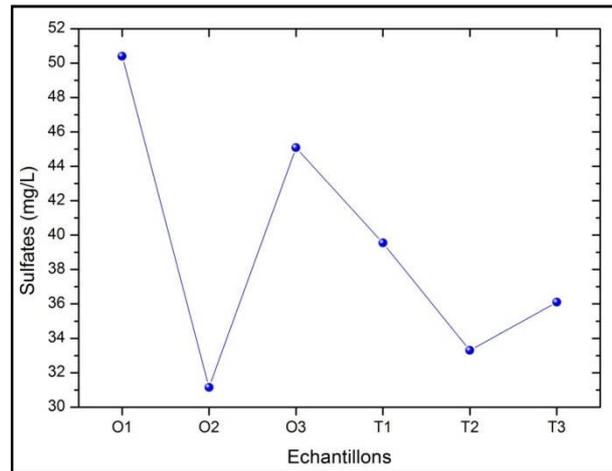


Fig.III.50: Variation de SO_4^{2-} dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-5-3 Bicarbonate (HCO_3^-)

Les concentrations en bicarbonates sont presque constantes au niveau de tous les points de prélèvements des lacs Oubeïra et Tonga et tournent autour de 125 à 153 mg/l (Fig.III.51).

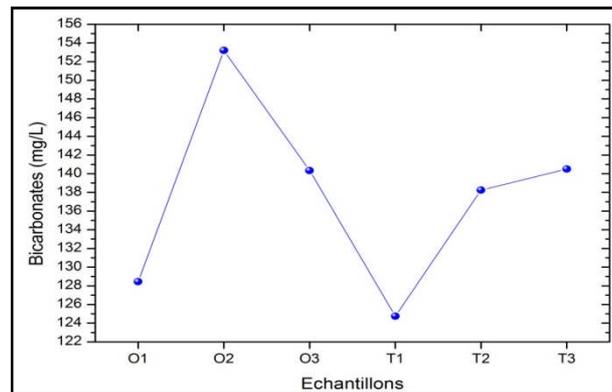


Fig.III.51 : Variation de HCO_3^- dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-5-4 Sodium (Na^+)

Les teneurs en sodium varient entre 67mg/l et 83 mg/l dans les eaux des lacs Oubeïra et Tonga (Fig.III.52).

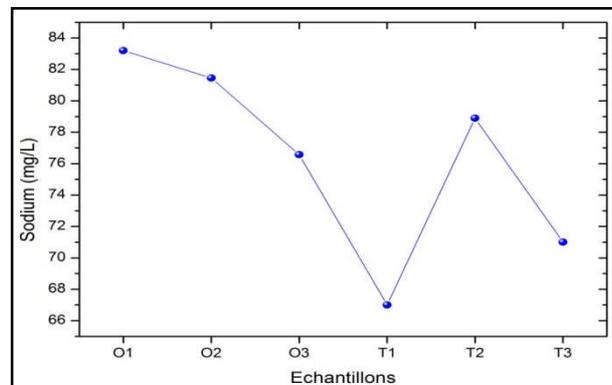


Fig.III.52: Variation de Na^+ dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-5-5 Calcium (Ca^{++})

La présence des ions de calcium dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelle soit la dissolution des formations gypseuses CaSO_4 et la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 .

Les eaux des Lacs Oubeïra et Tonga présentent des teneurs en calcium inférieur à 50 mg/l, se sont des eaux modérément douces. Les concentrations oscillent entre 41 et 46.5 mg/l (Fig.III.53).

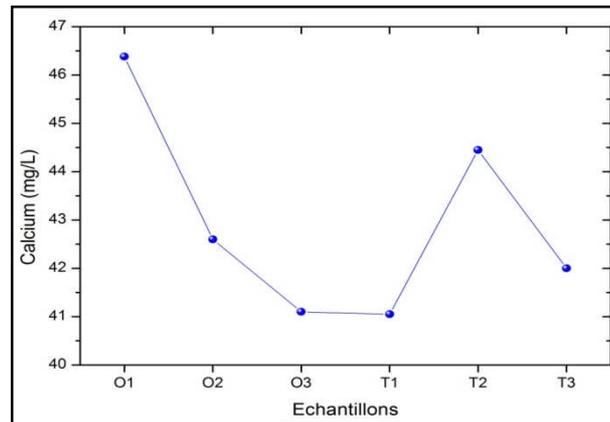


Fig.III.53: Variation de Ca^{++} dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-5-6 Magnésium (Mg^{++})

Les origines du magnésium sont comparables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneur en magnésium (magnésite et dolomites).

Le taux du Magnésium dans les eaux des Lacs Oubeïra et Tonga varie de 15mg/l à 20.5mg/l (Fig.III.54).

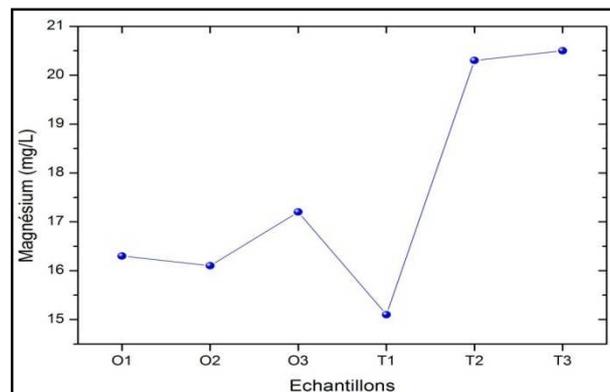


Fig.III.54: Variation de Mg^{++} dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-5-7 Potassium (K^+)

Les concentrations du potassium dans les différents points des eaux du lac Oubeïra et Tonga sont faibles, elles varient entre 6.5 mg/l et 10.5 mg/l (Fig.III.55).

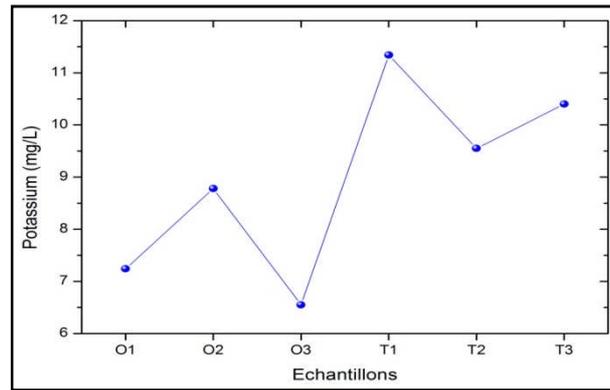


Fig.III.55: Variation de K^+ dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-6 Indice de saturation (IS) des eaux des lacs Oubeïra et Tonga

Les minéraux carbonatés (Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Calcite (CaCO_3), et Aragonite (CaCO_3)) dans tous les points du lac Oubeïra sont en équilibre. Dans le lac Tonga les points d'eaux T2 et T3 les minéraux carbonatés sont sursaturés donc en phase de précipitation. Pour le point T1 l'Aragonite et la Calcite sont saturées mais la Dolomite est sursaturée (Fig.III.56).

Les minéraux sulfatés (Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et Anhydrite (CaSO_4)) dans tous les points des lacs Oubeïra et Tonga sont sous-saturés. Pour la Halite, l'indice de saturation montre que les eaux des lacs Oubeïra et Tonga sont sous-saturés.

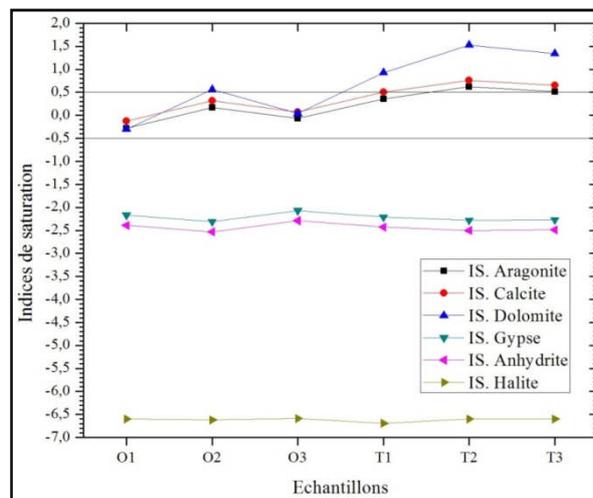


Fig.III.56: Variation de l'indice de saturation dans les lacs Oubeïra et Tonga.

2-7 Diagramme de Schoeller-Berkaloff

La représentation des analyses chimiques des eaux des lacs sur ce type de diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux des lacs Oubeïra et lac Tonga.

La projection des eaux des lacs dans le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Fig.III.57) permet de distinguer deux familles :

- ✓ Carbonatée calcique ; avec une abondance de Bicarbonate ;
- ✓ Chlorurée sodique

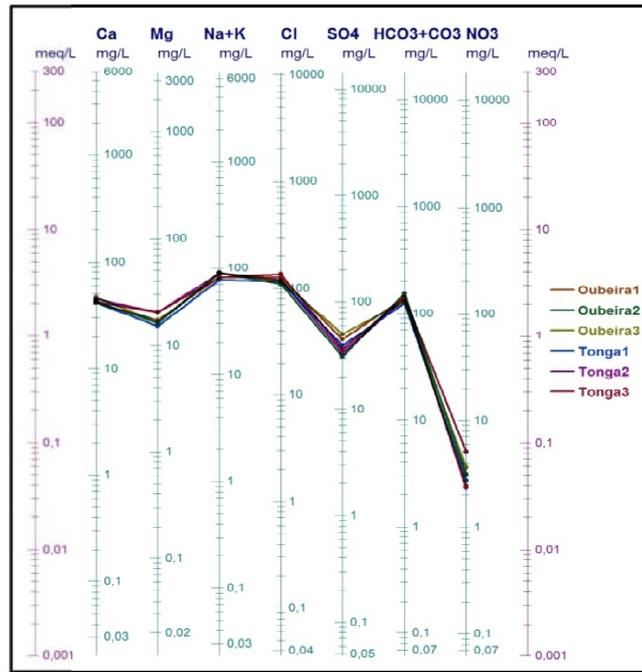


Fig.III.57: Diagramme de Schoeller-Berkaloff des lacs Oubeïra et Tonga.

3. Conclusion

Les résultats obtenus dans la région d'Ouargla montrent que les eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb sont dextrement salées, avec une conductivité très élevées. Le pH varie généralement entre 7,85 et 9,2 dans le chott d'Ain Beida et entre 7,88 et 8,25 dans sebkhet Oum Raneb. La température varie entre 20 et 30°C dans le chott d'Ain Beida, et entre 16 et 29°C dans sebkhet Oum Raneb.

Le facies chimique des eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb sont chlorurée sodique vu les fortes concentrations en chlorure et sodium, sans ignorer les teneurs remarquable en sulfates.

L'évolution géochimique de la salinité des eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb a montré, selon l'indice de saturation des sels minéraux, que les carbonates sont précipités vu leurs faible solubilité. Les minéraux évaporitiques sulfatés sont en équilibre par leurs solubilités moyennes. Les minéraux évaporitiques chlorurés sont sous-saturés vu leurs forte solubilité.

D'après les résultats d'analyse de diffractomètre par les rayons X (DRX) on a remarqué que la Halite c'est le sel le plus dominant dans chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb.

Les résultats obtenus dans la région d'El-Kalam montrent que les facies chimique des eaux des lacs Oubeïra et Tonga sont bicarbonatée calcique et chlorurée sodique. Interpréter par la présence des formations carbonatées ainsi que l'influence marine.

Les eaux des lacs Oubeïra et Tonga sont douce avec un pH varie généralement entre 7.5et 8.5 et une température des eaux oscille4.7°C et 26.7°C, par contre au niveau du lac Mellah où la salinité est très élevée, varie entre 26,62 ‰ et 33,82 ‰.

Les minéraux sulfatés et la Halite dans tous les points des lacs Oubeïra et Tonga sont sous-saturés. Les minéraux carbonatés dans tous les points du lac Oubeïra sont en équilibre.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La région d'Ouargla est une cuvette du bas Sahara située dans la partie basse au Nord-Est du grand erg oriental. La géologie de cette région est connue par une étude lithologique détaillée allant du Barrémien jusqu'au Mio-pliocène. Les terrains Mio-Pliocènes sont recouverts au niveau de la cuvette d'Ouargla par un dépôt quaternaire (alluvions du lit de l'oued M'ya). Cette région désertique est caractérisée par un climat hyperaride, marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part.

La région d'El-Kala est située à l'extrême Nord-Est Algérien, il est intégralement inclus dans la Wilaya d'El Taref. Correspondant presque au tiers de la superficie globale de son territoire. Elle est caractérisée par deux saisons, l'une froide et humide et l'autre chaude et sèche. Les précipitations enregistrées pendant la saison humide peuvent engendrer des inondations remarquables se répétant d'une année à l'autre. L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 90.6 mm au mois de Janvier et de 418.76 mm au mois de Juillet, soit de 2814.7 mm/an.

L'identification des zones humides dans la région d'Ouargla et El-Kala a été menée tout d'abord à partir de l'interprétation visuelle de la composition colorée des bandes spectrales (MIR, PIR et Rouge) qui a servi à l'apprentissage et à la validation des classifications.

La classification non supervisée par IsoData des zones humides dans la région d'El-Kala a donné des bons résultats avec une bonne visualisation des différentes profondeurs des eaux de la région ainsi que les différents paysages. Globalement la classification non supervisée a été validée avec succès dans l'identification des zones humides dans la région d'El-Kala. Dans la région d'Ouargla la classification non supervisée IsoData a permis d'identifier correctement 7 classes mais elle montre une confusion entre l'eau et la palmeraie d'une part et entre le sol humide et l'agglomération d'autre part. Ces confusions ont été réduites par la classification (IsoData), avec des néo-canaux (ACP, NDVI et IB).

La classification supervisée par le maximum de vraisemblance a été validée avec une bonne précision globale supérieure à 91%, induisant une excellente correspondance entre la cartographie et les observations de terrain.

La classification supervisée du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb montre que les surfaces salées (sol salé sec et sol salé humide 1, 2...) sont caractérisées par une activité géochimique très élevée et qui sont apparues par les formations des croûtes et des efflorescences salines des différents sels beige, blanc et brun.

Le faciès chimique des eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb sont chlorurées sodiques vu les fortes concentrations en chlorure et sodium. Dans la région d'El-Kala montrent que les faciès chimiques des eaux des lacs Oubeira et Tonga sont bicarbonatées calciques et chlorurées sodiques. Interpréter par la présence des formations carbonatées ainsi que l'influence marine. Au niveau du lac Mellah la salinité est très élevée qui varie entre 26,62 ‰ et 33,82 ‰ cela est dû au contact direct avec la mer.

L'évolution géochimique de la salinité des eaux du chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb a montré, selon l'indice de saturation des sels minéraux, que les carbonates sont précipités vu leurs faible solubilité. Les minéraux évaporitiques sulfatés sont en équilibre par leur solubilité moyenne. Les minéraux évaporitiques chlorurés sont sous-saturés vu leurs forte solubilité. L'indice de saturation dans la région d'El-Kala montre que les minéraux sulfatés et l'Halite dans tous les points des lacs Oubeïra et Tonga sont sous-saturés. Les minéraux carbonatés dans tous les points du lac Oubeïra sont en équilibre.

D'après les résultats d'analyse de diffractomètre par les rayons X (DRX) on a remarqué que la Halite c'est le sel le plus dominant dans chott Ain Beida et sebkhet Oum Raneb.

*Références
bibliographiques*

Références Bibliographiques

- Abbaci H.(1999). « Ecologie du Lac Tonga: Cartographie de la végétation, Palynothèque et utilisation de l'espèce lacustre par l'avifaune ». Thèse de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 143 p.
- Alayat H., Lamouroux C. et Kherici N. (2009). « Evolution spatiale des caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Oubeïra imposé par les conditions sévères de la sécheresse (Extrême NE Algérien) ». *Press. Therm. Climat.*, 144: 191-199.
- Aliev M. (1972). « Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz au Sahara algérien ». (Tome 1) SONATRACH -ALGER, 275p.
- Ballais J.L. (2010): « Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du bas Sahara Algérien ». Géographie physique et environnement. Vol IV, 127 p.
- Belhadj G., Chalabi B., Chabi Y., Kayser Y. et Gauthier-Clerc M. (2007). « Le retour de l'Ibis falcinelle (*Plegadisfalcinellus*) nicheur en Algérie ». *Aves* 44(1): 29-36
- Benchallal A., Oukil A. et Belhadj-Aïssa A. (2009). « Identification et détection, par imagerie satellitaire, de la dégradation des sols par la salinité dans la cuvette de Ouargla, sud de l'Algérie ». Journées d'animation scientifique (JAS09) de l'AUF Alger, p 6.
- Benmessaoud H. (2009). « Etude de la vulnérabilité a la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des aures (Algerie) ». Thèse de Doctorat, Université El Haj Lakhdar, Batna, 124p.
- Bonn F et Rochon G. (1992). « Précis de télédétection », Vol. 1 : Principe et méthodes Presses de l'Université du Québec, Sillery, 484pp.
- Bonn F et Rochon G. (2000). « Précis de télédétection », Vol. 1 : Principe et méthodes Presses de l'Université du Québec, Sillery, 479 pp.
- Bouazouni O. (2004). « Etude socio-économique du PNEK. Projet Régional pour le développement d'Aires marines et côtières Protégées dans la région de la Méditerranée ». (MedMPA), p51.
- Boumezebeur A. (1993). « Ecologie et biologie de la reproduction de l'Erismature à tête blanche *Oxyuraleucocephala* et du Fuligule nyroca *Aythya nyroca* sur le Lac Tonga et le Lac des oiseaux, Est algérien ». Thèse de doctorat, Université Montpellier, 254 p.
- Branes Z., Sargos D., Ounissi M. et Amblard C. (2009). « Variabilité saisonnière et spatiale de la biomasse et de la composition du phytoplancton de la Lagune Mellah (Algérie- Méditerranée) ». *Revue Synthèse. Université Badji Mokhtar, Annaba.* pp.13-22
- BRL ingénierie (1999). « Etude du plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes », 52p.
- Busson G. (1971). « Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien ». Edit., Paris, 464p.

- Caloz R. et Pointet A. (2003). « Analyse comparative de la classification contextuelle et du maximum de vraisemblance », synthèse et cas d'étude, *Télédétection*, 2003, vol. 3, n° 2-3-4, p. 311–322.
- Castaneda C. and Ducrot D. (2008). « Land cover mapping of wetland areas in an agricultural landscape using SAR and Landsat imagery ». *Journal of Environmental Management* xx (2008) , pp 1-8.
- Chalabi B. (1990). « Contribution à l'étude de l'importance des zones humides algériennes pour la protection de l'avifaune : cas du lac Tonga (parc national d'El-Kala) ». Thèse de Magister, INA, Alger, Algérie, 133p.
- Cornet A. (1964). « Introduction à l'hydrogéologie saharienne ». *Géog. Phys. et Géol.Dyn.*, vol. VI.fasc. 1,5-72.
- Costa L.T., Farinha J.C., Hecker N. et Tomàs Vives P. (1996). « Mediterranean Wetland Inventory: A Reference Manual». *MedWet / Instituto da Conservação da Natureza / Wetlands International Publication. Volume I. p 102.*
- Djidel M. (2004). « Etude hydrochimique des nappes côtières cas des nappes du littoral d'Annaba-El Kala (Nord-Est algérien) ». Thèse de Magistère, Université Badji Mokhtar, Annaba, 63p.
- Dubief J. (1963). « Le climat du Sahara ». *Mém. Hors série. Ins. Rech. Sahar.*, 275p.
- Dubief J. (1953). « Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara ». *S.E.S.*, Alger, 457p.
- Edmunds W.M., Guendouz A.H, Mamou A, Moulla A.S, Shand P, Zouari K (2003). « Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators ». *Applied Geochemistry* 18(6), pp 805–822.
- El Ayachi B. (1951). « Une journée de réjouissance publique à Ouargla ». *Mission Sahara n° 5 –Ouargla et sa population*, 12-25 pp.
- Escadafal R. et Pouget J. (1989). « Comparaison des données Landsat MSS et TM pour la cartographie des formations superficielles en zone aride (Tunisie méridionale) ». *Proceedings of a Workshop on 'Earthnet Pilot Project on Landsat Thematic Mapper Applications*, ESA SP-1102 - ISBN 92-9092-000-9.
- Fabre J. (1976). « Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines ». *SNED*, Alger, 421p.
- Fontaine J. (1996). « Sociétés sahariennes, entre mythe et développement », Besançon-Tours, *Cahiers de l'Université ouverte-Cahiers d'URBAMA*, 151p.
- Fustec E, Lefeuvre J-C et Coll. (2000). « Fonctions et valeurs des zones humides », Dunod Paris, 426p.
- Gimazane J.P. (1982). « L'exploitation conchylicole du lac Mellah Algérie », *Projet régional de développement d'aquaculture en Méditerranée*, 15p.
- Girard M.C. et Girard C.M. (1999). « Traitement des données de télédétection ». *DUNOD*

- Ed. Paris, pp 59-73. ISBN: 2 10 004185.
- Grimes S., Boutiba Z., Bakalem A., Bouderbala M. Boudjellal B., Boumaza S., Boutiba M., Guedioura A., Hafferssas A., Hemida F., Kaïdi N., Kerzabi F., Khelifi H., Merzoug A., Nouar A., Sellali B., Sellali-Merabtine H., Semroud R., Seridi H., Taleb M.Z. et Touahria T. (2004). « Biodiversité marine et littorale algérienne ». Projet Sonatrach/ LRSE. Eds. Sonatrach, 362 p.
- Guendouz A., Moulla A.S., Edmunds W.M., Zouari K., Shands P. et Mamou A. (2003). « Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the complex terminal aquifer in Algerian Sahara ». *Hydrogeology Journal*. 11. 483-495.
- Guendouz A., Reghis Z. et Moulla A.S. (1992). « Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla ».
- Halimi A. (1980). « L'atlas Blidéen, climat et étages végétaux », Office des publications universitaires, Alger.
- Hamdi-Aïssa. B. (2001). Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord-Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 33-82p
- Hammad N. (2008). « Apport de la télédétection à haute résolution à la discrimination lithologique en domaine semi-désertique et aride : Application à la région du djebel drissa (Massif des eglab) ». Thèse de Magistère, Université Houari Boumediene, Alger, 26p.
- Henry J-B. (2004). « Systèmes d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de plaine ». Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, pp 29-55.
- Hoang K.H., Bernier M. et Villeneuve J-P. (2009). « Les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière câu (viêt-nam) ». Essai sur une approche diachronique. 009 - © Revue Télédétection, 2008, vol. 8, n° 4, p. 227-236
- Hostache R., Puech C., Schumann G. et Matgen P.(2006). « Estimation de niveaux d'eau en plaine inondée à partir d'images satellitaires radar et de données topographiques fines ». *Télédétection*, vol. 6, n° 4, p. 325-343
- Idder T., Idder A. et Mensous M. (2011). « Les conséquences écologiques d'une gestion non raisonnée des eaux agricoles dans les oasis du Sahara algérien (Cas de l'oasis de Ouargla) ». Colloque international usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée, université de Provence, Marseille, 20-21 janvier 2011. p.12.
- Joleaud L. (1936). « Etude géologique de la région de Bône et la Calle ,2^{ème} série stratigraphie et description générale Typo-litho et Jules Carbonel ,199p.
- Marre A, (1987). « Etude géomorphologique du tell oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne ». Université Aix Marseille II Uer géographie ,559p.
- Metternicht G.I. et Zinck J.A. (2003). « Remote sensing of soil salinity: potentials and

- constraints. *Remote Sensing of Environment* », vol. 85, no1, pp. 1-20. ISSN 0034-4257.
- Mougenot B. 1993. « Effets des sels sur la réflectance et télédétection des sols salés ». Cah. Orstom, sér, Pédol., vol. XXVIII, no 1, 1993 : 45-54.
- Parkhurst D.L., Appelo. C.A.J. (1999). « User's guide to PHREEQC version2: a computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport and inverse geochemical calculations ». USGS, Water-resources investigations report 99-4259.
- Pony O., Descombes X. et Zerubia J. (2000). « Classification d'images satellitaires hyperspectrales en zone rurale et périurbaine ». ISRN INRIA/RR-4008-FR. ISSN 0249-6399
- Richards J. and Xiuping J. (1999). « RemoteSensing Digital Image Analysis: An Introduction ». *Geological Magazine*, May 2000, v. 137, p. 339-340
- Rodier J. (2005). « L'analyse de l'eau », 8ème édition, 120p.
- Samraoui B. et DeBélair G. (1997). « The Guerbes-Senhadja wetlands », Part I. An overview. *Ecologie*, 28 : 233-250.
- Samraoui B et DeBelair G. (1998). « Les zones humides de la Numidie orientale: bilan des connaissances et perspectives de gestion ». *Synthèse* (Numéro spécial 4): 1-90.
- Sayad L, (2008). « Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'écosystème lacustre Lac des Oiseaux (Wilaya EL Tarf) ». Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 41p.
- Tonon M. (2009). « Introduction à la Télédétection », rapport IGN France International, 32P.
- UNESCO. (1972). « Etude des ressources en eau du Sahara septentrional ». Rapport sur les résultats du projet, Projet ERESS. UNESCO, Paris. 100 p.
- Vidal A., Maure P., Durand H. and Strosser P., (1997). « Remote sensing applied to irrigation system management: Example of Pakistan ». In EURISY Colloquium: Satellite Observation for sustainable development in the Mediterranean Area, 132-142. Paris: Promotion of Education and information Activities for the Advancement of Space Technology and its Application in Europe.
- Vila J-M. (1980). « Carte structurale de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algero-Tunisiens », échelle : 1/50 000.
- WEC (2007). « La géologie pétrolière de l'Algérie ». In Sonatrach – Schlumberger Well Evaluation Conference - Algérie 2007, p. 1.6 – 1.8, Édité par Schlumberger, 2007.
- Zeddouri A. (2010). « Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique des nappes du complexe terminal de la région de Ouargla (Sud-Est algérien) ». Thèse de Doctorat, UnivBadji Mokhtar, Annaba, 58p.