

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et des Sciences de
la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

Evolution Spatiotemporelle des Lacs de la Région d'El-Kala (Nord-Est algérien)

Soutenu publiquement par :

M.Elhoussein Ould Sidi Mohamed

Soutenu le 01/06/2016

Devant le jury composé de :

Mr ZEDDOURI Aziez	MC (A)	Président	UKM Ouargla
Mr DJIDEL Mohamed	Pr.	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mr MEDJANI Fethi	MC (B)	Co-encadreur	UKM Ouargla
Mr BELLAOUEUR Abdelaziz	MA (A)	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

*A Ma Mère L'anade Essalem et mes frères Ma sœur
Enbkou et ma petite sœur Lala, mon père Sidi
Mohamed et à toute ma grande famille.*

A tous mes amis

A tous qui me souhaitent une bonne vie

A tous mes enseignants du primaire

jusqu'aujourd'hui

A mes collègues de la promotion.

A tous ceux que j'aime

Remerciement

J'exprime en premier lieu mes gratitudes à la compassion du dieu, qui me donne la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Je remercie infiniment l'ensemble des personnes citées ci-dessous :

- Mon promoteur Pr. DJIDEL Mohamed pour ses orientations.

- Dr. Medjani Fethi pour la correction.

Je remercie les honorables membres du jury qui m'ont fait l'honneur de corriger et juger mon travail

-Mes collègues de promotion.

A tous qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je remercie toute l'équipe de l'Université de Ouargla

Et toute le Peuple algérien

Sommaire

Dédicace.....	ii
Remerciement	iii
Sommaire	iv
Liste de figures	viii
Liste des tableaux	ix
Introduction	1
Chapitre I : Description de la zone d'étude	2
1. Situation géographique	2
2. La géologie du terrain :.....	3
2.1 Coupe Géologique dans la Plaine d'El Taref :	3
2.2 Aperçu Tectonique :.....	4
3. Hydrogéologie :	4
3.1. Hydrologie de surface :.....	5
a- Les surfaces d'eau :.....	5
b- Le lac Oubeïra :.....	5
c- Le lac Mellah :	5
d- Le lac Tonga :	5
4. Géomorphologie :.....	6
4.1- Le Relief :	6
a- Le cordon dunaire littoral :	6
4.2- Les plaines sub-littorales :	6
4.3. Les montagnes telliennes :.....	7
5. Hydrologie :.....	8
5.1-Le réseau hydrographique :	8
a- Le bassin du Lac Mellah :.....	8
b- Le réseau hydrographique du bassin du lac Tonga :.....	9
c- Le bassin versant du lac Oubeira :	10
6. Climatologie :	11
6.1- les facteurs climatiques :	11
a- Les températures :	11

b- L'humidité :	11
c- Le vent :.....	12
d- Les précipitations :.....	13
6.2- L'indice d'aridité :.....	13
6.3- Diagramme Pluvio-Thermique de Gaussen :	14
6.4- Le bilan d'eau :.....	14
a. Bilan Hydrique par la méthode de Thorntwaite :.....	14
b. Le Ruissellement (R) :	15
c. L'infiltration efficace (Ic) :	16
7. Conclusion :.....	16
Chapitre II : Matériels et méthodes	17
1. Matériels utilisés	17
1.1 Les données satellitaires	17
1.1.1 Les images (MNT) :.....	17
1.1.2 Les images satellitaires (LANDSAT OLI).....	17
1.1.3 Les images Google Earth	17
1.2 Les logiciels utilisés :.....	17
1.2.1 Global Mapper :	17
1.2.2 ArcGis 10.3 :	18
1.2.3 ENVI 5.1 :	18
1.2.4 Google Earth Pro :.....	18
2. Méthodologie générale :.....	19
2.1 La modélisation hydrologique :	19
2.1.1 Processus d'extraction du réseau hydrographique :.....	20
2.1.2 Extraction de la carte des pentes :.....	21
2.2 Occupation du sol :	21
2.2.1 Les prétraitements des images :	21
a. Empilement des bandes spectrales (Layer stacking)	21
b. Découpage des une images (Resize data) pour extraire la zone d'étude :.....	21
c. La composition colorée :.....	22
d. Rehaussement des images (Enhance) :	23
2.2.2 Classifications des images.....	23
a. Indice de végétation (NDVI)	23
b. Indice de végétation (NDWI) :	23

c. Seuillage des bandes (segment image)	23
d. Classifications par Arbre de décision :	24
e. Masquage :	24
2.2.3 La détection des changements :	25
a. Les matrices de changements :	25
b. Les cartes de changements :	25
2.2.4 Cartographie par ArcGis 10.3 :	25
Chapitre III : Résultat et discussion.....	26
Introduction :	26
1. Hydrologie :	26
1.1- Bassin versant :	26
1.2- Le réseau hydrographique :	26
2- Classification :	28
2.1- La classification en hiver (Janvier) :	28
2.2. La classification en printemps (Avril) :	28
2.3- La classification en été (Juillet) :	29
2.4- La classification en automne (Octobre) :	30
3- Evolution temporelle des états de surface (Change détection) :	31
3.1- Les matrices de changement :	31
3.1.1- Les changements entre (Janvier et Avril) :	31
a- Les surfaces inchangées :	32
b- Les surfaces changées:	32
3.1.2- Les changements entre (Avril et Juillet) :	32
a- Les surfaces inchangées :	32
b- Les surfaces changées :	32
3.1.3- Les changements entre (Juillet et Octobre) :	33
a- Les classes inchangées :	33
b - Les classes changées :	33
c- comparaison entre l'eau et la végétation :	33
3.1.4- Les changements entre (Janvier-Avril et Avril Juillet) :	34
a- les classes inchangées :	34
b- Les classes changées :	34
3.1.5- Les changements entre (Avril-Juillet et Juillet-Octobre) :	34
a- Les classes changées:	34

b- Les classes inchangées:.....	35
3.1.6- Les changements entre (Jan-Avril-Juil. et Avril-Juillet-Octobre) :.....	35
a- Les classes inchangées :	35
b- Les classes changées :	35
4- La cartographie des changements :.....	36
a- Changement « Janvier-Avril » :	36
b- Changement « Avril-juillet » :	36
c- Changement « Juillet-Octobre » :	37
d- Changement « Janvier-Avril- Juillet » :.....	38
e- Changement « Avril- Juillet-Octobre » :.....	38
f- Carte finale des changements :	39
Conclusion :.....	40
Conclusion général	43
Références bibliographies.....	45

Liste de figures

Figure 1. Situation et limites géographiques de l'aire du Parc National d'El-Kala. (Bentouili Med Yassine, 2007)	2
Figure 2. Extrait de la carte géologique régionale (Vila, 1980)	3
Figure 3. Coupe géologique à travers la plaine d'El Taref (Sayad, 2008)	4
Figure 4. Carte des pentes de la région d'El-kala. (Bentouili, 2007)	7
Figure 5. Réseau hydrographique du bassin du lac mellah, (Bouazouni.2004).	9
Figure 6. Réseau hydrographique du bassin du lac Tonga, (Bouazouni, 2004).	10
Figure 7. Réseau hydrographique du bassin du lac Oubeira (Bouazouni, 2004).	10
Figure 8. Variation des températures moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)	11
Figure 9. Variation des Humidités moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)	12
Figure 10. Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (Station de Bouteldja, 1980-2005)	12
Figure 11. Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)	13
Figure 12. Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN	14
Figure 13. Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques dans la station Bouteldja (1980-2005)	15
Figure 14. Bilan hydrique (Thorntwaite) dans la station Bouteldja (1980-2005)	15
Figure 15. Bassin versant	19
Figure 16. Illustration de la chaîne de géotraitement pour la délimitation du bassin versant d'un plan d'eau	19
Figure 17. Réseau hydrographique de lacs Mellah Oubeira et Tonga	20
Figure 18. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrologique	21
Figure 19. Organigramme du processus général de traitement des images Landsat8	22
Figure 20. Réseau hydrographique de lacs Mellah Oubeira et Tonga	26
Figure 21. Réseau hydrographique de lacs Mellah Oubeira et Tonga	27
Figure 22. Réseau hydrographique de lacs Mellah Oubeira et Tonga	27
Figure 23. Carte de classification de Janvier	28
Figure 24. Carte de classification en Avril 2015	29
Figure 25. Carte de classification de juillet	30
Figure 26. Carte de la classification du mois d'Octobre	31
Figure 27. Evolution de la surface d'eau et de végétation au cours de quatre saisons	34
Figure 28. Changement entre janvier et avril	36
Figure 29. Changement entre avril et juillet	37
Figure 30. Changement entre juillet et Octobre	37
Figure 31. Changement entre « janvier-avril » et « avril-juillet »	38
Figure 32. Changement entre avril-juillet et juillet-octobre	39
Figure 33. Carte finale	39

Liste des tableaux

Tableau 1. Variation des températures moyennes mensuelles _____	11
Tableau 2. Humidité moyenne mensuelle (Station de Bouteldja 1980-2005) _____	12
Tableau 3. Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station de Bouteldja, 1980-2005) _____	12
Tableau 4. Précipitations moyennes mensuelles (Station de Bouteldja 1980-2005) _____	13
Tableau 5. Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE _____	13
Tableau 6. Le Ruissellement selon la formule Tixeront-Berkalof _____	16
Tableau 7. Les seuilles des néo-canaux utilisés pour la classification _____	24
Tableau 8. Les périmètres et les surfaces de bassin versant des lacs _____	26
Tableau 9. Matrice de changements entre (Janvier et Avril) _____	31
Tableau 10. Matrice de changements entre (Avril et Juillet) _____	32
Tableau 11. Matrice de changements entre (Avril et Juillet) _____	33
Tableau 12. Matrice de changements entre (Janvier-Avril et Avril Juillet) _____	34
Tableau 13. Matrice de changements entre (Avril-Juillet et Juillet-Octobre) _____	35
Tableau 14. Matrice des changements entre Avril -Juillet-Octobre et Janvier -Avril-Juillet_	35

Introduction

Introduction

Le Parc National d'El-Kala situé dans la partie extrême du Nord-Est d'Algérie, s'étend sur une superficie de 78000 Ha soit 26% de la surface de la wilaya d'El-Tarf. Ses écosystèmes, très variés, le permet un classement parmi les sites mondialement protégés. Il renferme des espèces endémiques dont quelques-uns sont en voie de disparition. Hautement boisé avec plus de 69% de sa superficie, Le Parc National d'El-Kala s'étend sur une bande côtière de 40 Km. Il longe la frontière tunisienne sur 98 km, les ressources économiques est l'agriculture, le tourisme et la pêche.

Dans notre travail, nous allons examiner les images enregistrées au cours des quatre saisons de l'année pour les trois lacs (Mellah et Oubeira et Tonga) qui se trouvent au cœur du parc national, nous allons essayer de trouver les facteurs influents sur l'augmentation des surfaces du plan d'eau et dans quelle mesure.

L'objectif de notre étude est de connaître les changements spatiotemporels d'El-Kala qui se produisent au niveau des surfaces du plan d'eau des 3 lacs qui composent le parc durant les 4 saisons et la connaissance de leurs conditions de changements.

Notre étude est basée sur le traitement des images satellitaires de Landsat, mais les traitements de ces images nécessite une bonne connaissance de terrain ; ainsi que la maîtrise des programmes qui calculent les paramètres et extraient les formes géométriques de l'occupation du sol

L'utilisation des images MNT nous a permis la délimitation, la quantification et l'extraction des sous-bassins versant des trois lacs ainsi que leurs réseaux hydrographiques. Ceci nous a permis le lien entre les paramètres climatiques et topographie du terrain et la reconstitution hydrographique. Mais l'évolution des surfaces du plan d'eau on a pu la quantifié par un suivi saisonnier durant l'année 2015.

Dans les trois chapitres qui suivent, on a commencé par une description de la région, puis par l'explication des matériels et des méthodes et enfin les résultats et les discussions.

Chapitre I

Chapitre I : Description de la zone d'étude

1. Situation géographique :

Le Parc National d'El-Kala est situé 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.

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 N et 8°27 E au niveau de la ville d'El Kala.

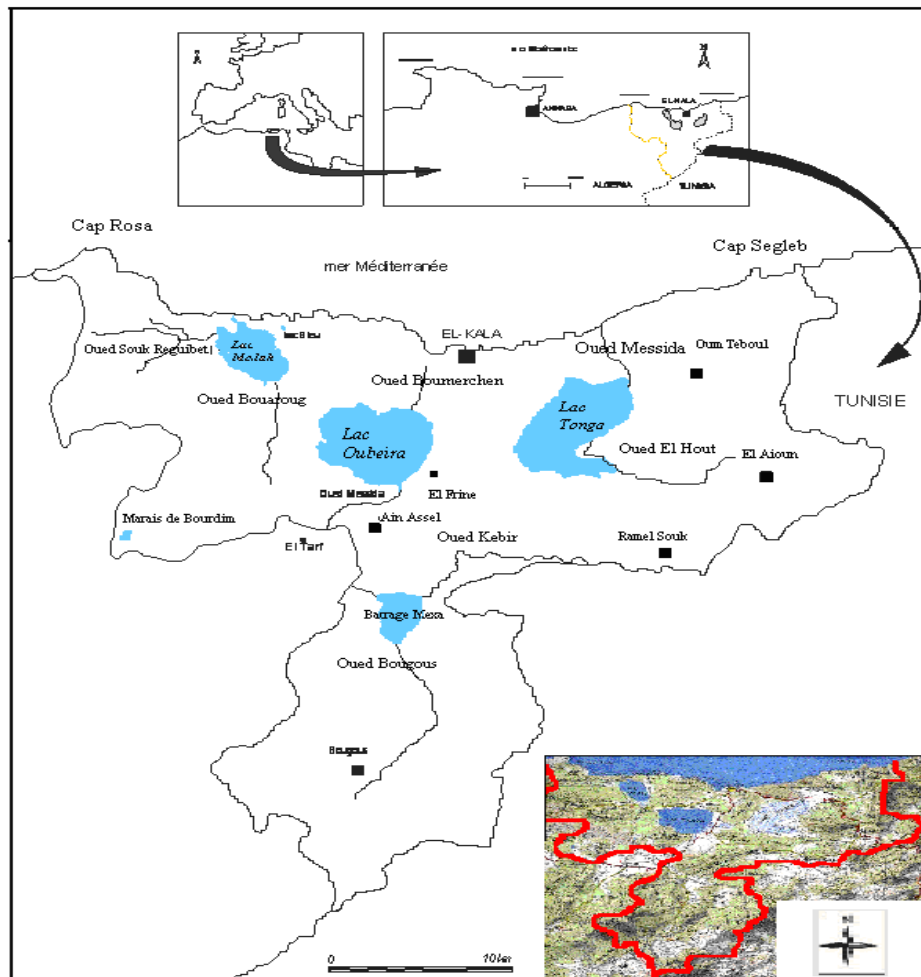


Figure 1. Situation et limites géographiques de l'aire du Parc National d'El-Kala. (Bentouili Med Yassine, 2007)

2. La géologie du terrain :

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 ; Vila 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 des roches tendres des unités telliennes ou massyliennes ou mauritaniennes (Laouini, 2012).

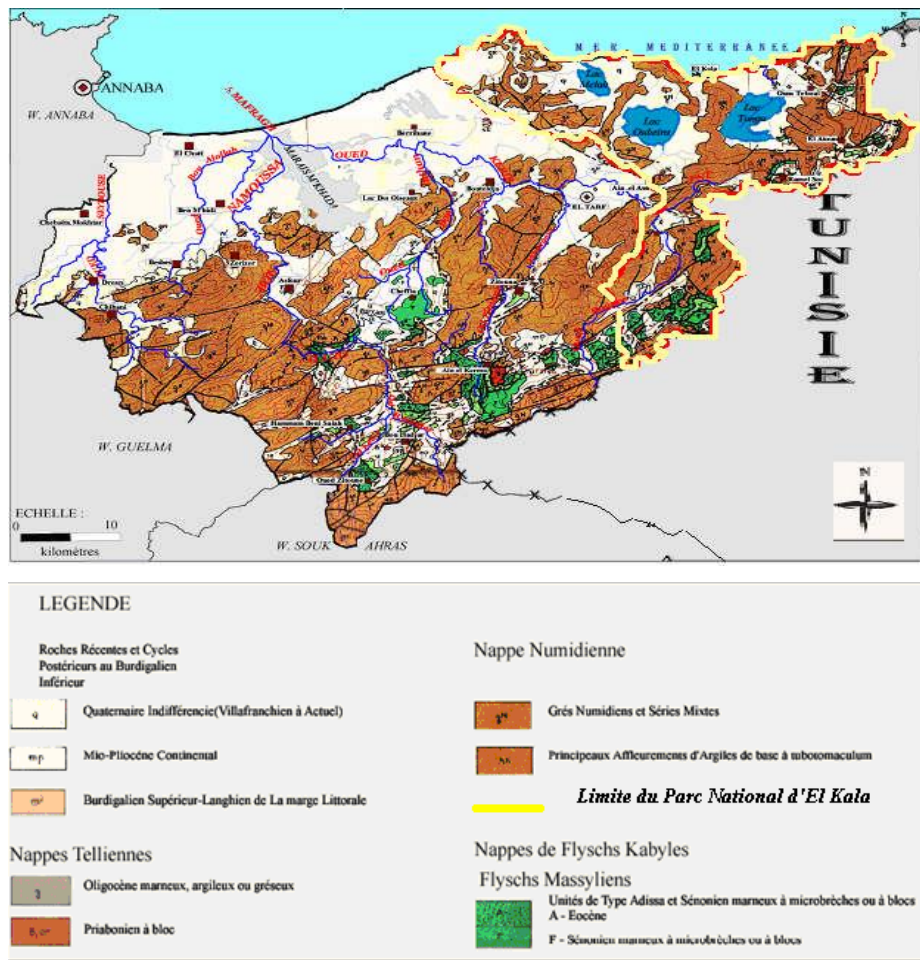


Figure 2. Extrait de la carte géologique régionale (Vila, 1980)

2.1 Coupe Géologique dans la Plaine d'El Taref :

C'est une coupe effectuée dans la plaine d'El Taref de direction Est-Ouest la structure est très complexe le nummulitique représenté par la nappe numidienne est constitué par les argiles d'âge Oligocène moyenne et supérieure et des grés qui sont datés de l'Aquitaniens.

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 (Laouini, 2012).

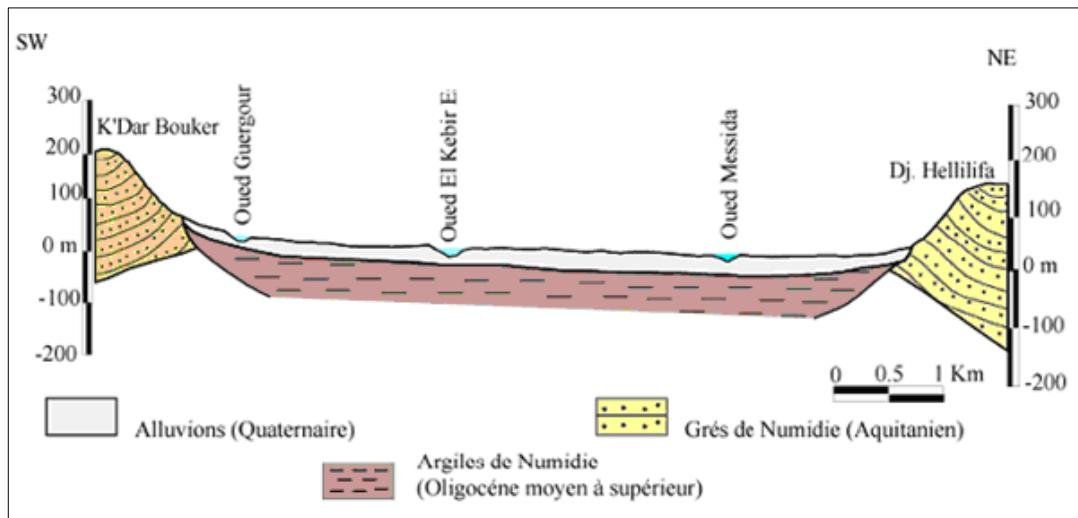


Figure 3. Coupe géologique à travers la plaine d'El Taref (Sayad, 2008)

2.2 Aperçu Tectonique :

Les anciens accidents tectoniques ont créés des subsidences comme la plaine d'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 flysch mauritaniens. Toutes les autres séries restent en profondeur expliquant ainsi la grande monotonie lithologique (Laouini, 2012).

3. Hydrogéologie :

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 trouvent 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 présentée 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 $3 \cdot 10^{-6}$ à $5 \cdot 10^{-7}$ m/s) est limitée au Nord par le cordon dunaire côtier, 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).

3.1. Hydrologie de surface :

3.1.1- Les surfaces de plan 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 permanent (garaâ M'dakra). Les véritables lacs sont: lac Oubeira, lac Mellah et lac Tonga.

b- Le lac Oubeïra :

Le plan d'eau de l'Oubeïra est un niveau de base vers lequel coulent les eaux souterraines des nappes phréatiques présentes dans les alluvions sablonneuses, les formations dunaires et gréseuses des terrains autour du lac. Les eaux souterraines approvisionnent les plans d'eau par les résurgences dans les cours d'eau et par un flux souterrain 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.

c- 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 Mellah forme un niveau de base vers lequel s'écoulent aussi les eaux souterraines par le débit d'étiage sous forme des cours d'eau et par un flux souterrain provenant des nappes présentes dans les formations géologique du Bassin versant.

d- Le lac Tonga :

Le 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.

Le lac Tonga constitue le niveau de base vers lequel s'effectue l'écoulement des eaux souterraines des nappes situées à sa périphérie. L'existence de nombreuses sources et des formations végétales inféodées aux milieux humides indique la présence de nappes dans les dunes et dans les massifs gréseux qui forment les reliefs autour du lac. Ce sont ces écoulements qui assurent le caractère pérenne des cours d'eau et la présence d'eau dans les marécages en période estivale. On note également la présence d'eau souterraine drainée par les oueds dans les formations alluviales des cônes de déjection des deux principaux oueds.

4. Géomorphologie :**4.1- 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 (Laouini, 2012) :

a- 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 (Laouini, 2012).

4.2- 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'Ouest sont les plus importantes. Ces dépressions en relation avec les dunes littorales présentent un intérêt hydrogéologique considérable, d'ailleurs leurs réserves collectives d'Oum Teboul, El Gantra El Hamra, Boumalek....etc.

4.3. 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 : « cap Rosa » et « cap Segleb ».

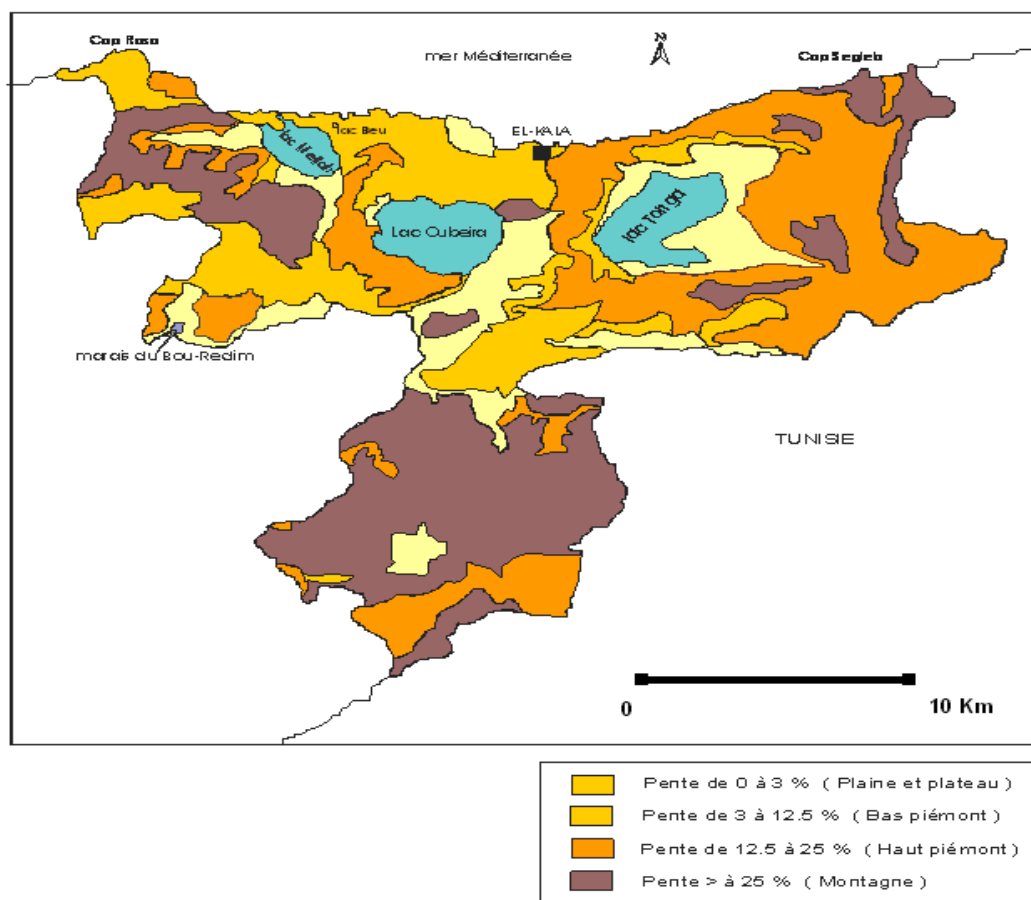


Figure 4. Carte des pentes de la région d'El-kala. (Bentouili, 2007)

En effet, le relief se caractérise par un pendage important : 09% de pentes faibles, 11% moyennes et 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 (Bentouili, 2007),

5. Hydrologie :**5.1-Le réseau hydrographique :**

La configuration du terrain de la région d'El-Kala détermine trois systèmes d'organisation hydrographiques :

- 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. Lors des crues, les eaux s'accumulent au niveau 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 (Bouazouni, 2004).

a- Le bassin du Lac Mellah :

Le bassin du Lac Mellah (Fig.5) est drainé par trois oueds à écoulement pérenne mais dont les débits baissent à l'étiage pour ne devenir souvent que de minces filets d'eau alimentés par les sources qui ne tarissent pas avec la baisse estivale du niveau des nappes. L'essentiel des eaux qui se jettent dans le lac proviennent de la partie Ouest du bassin qui est la plus étendue et la plus montagneuse. C'est également de là que coulent les trois principaux cours d'eau :

- oued Reguibat au Nord de la partie occidentale ;
- oued El Mellah au centre ;
- oued El Aroug au Sud.

Tout à fait au Nord du bassin, dans les monticules formés par les dunes littorales, de petits cours d'eau coulent momentanément dans les thalwegs lors des fortes précipitations. L'exutoire du bassin versant du lac Mellah est l'embouchure du chenal qui le relie à la mer. Le chenal a remplacé, l'oued En Nechaâ avant qu'il ne soit rectifié pour les besoins de son exploitation piscicole. Le goulet évacue vers la mer les eaux du lac provenant de la précipitation hivernales et, dans l'autre sens, laisse pénétrer les eaux de mer lors des houles et marées (Bouazouni, 2004).

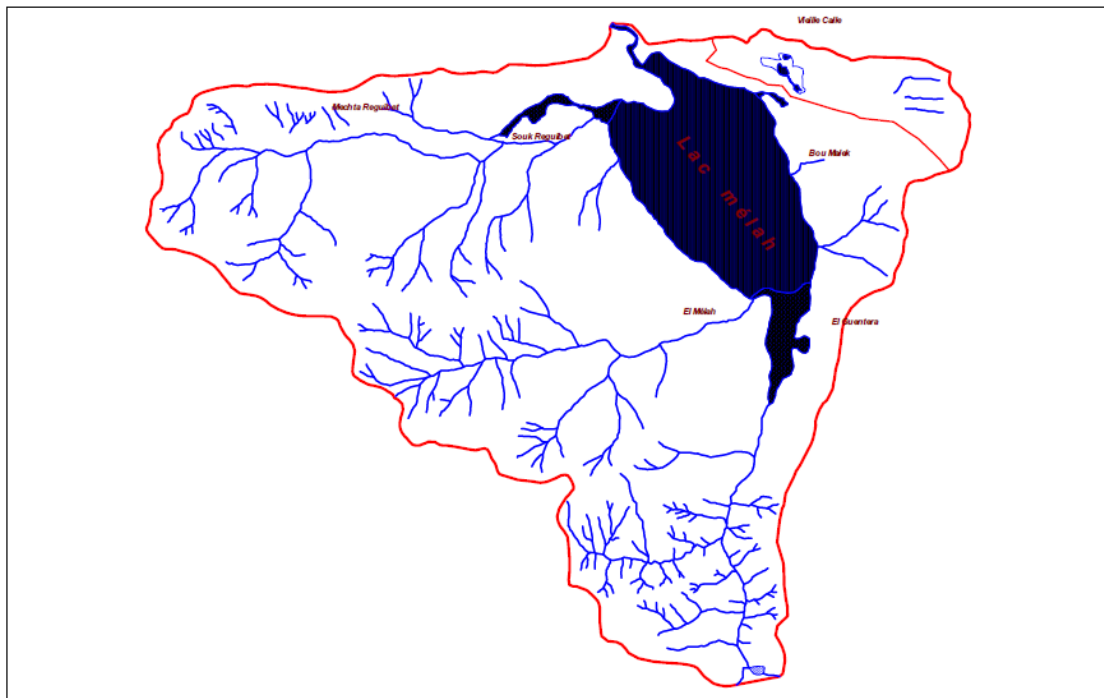


Figure 5. Réseau hydrographique du bassin du lac mellah, (Bouazouni.2004).

b- Le réseau hydrographique du bassin du lac Tonga :

Le réseau hydrographique du bassin du lac Tonga (Fig.6) présente une densité peu commune. Le plan d'eau reçoit ses eaux de deux principaux oueds pérennes mais dont le débit se réduit considérablement en période estivale par les effets conjugués de l'étiage et des nombreux prélèvements qui sont effectués le long de leur parcours notamment en franges alluviales et dans les deltas que forment leurs vastes cônes de déjection au Nord de Oued El Hout et à l'Ouest de Oum Teboul.

- L'oued El Eurg draine la zone montagneuse au Nord et Nord-est du bassin
- L'oued El Hout proprement dit prend ses sources dans les massifs autour d'El Aïoun et draine la partie montagneuse du Sud du bassin.

Une tentative d'assèchement du lac Tonga à la fin du 19^{ème} siècle a modifié et rectifié le lit de l'oued pour canaliser les eaux directement vers la mer.

Une multitude de cours temporaires qui coulent dans les thalwegs à l'Ouest et au Sud-Ouest du bassin versant contribuent temporairement, lors des crues, à l'alimentation du plan d'eau. L'existence d'une importante aulnaie et la présence de l'eau très près de la surface à la limite entre le lac et les dunes littorales qui le bordent au Nord indique une alimentation par voie souterraine à partir de la nappe des dunes.

Le canal de la Messida qui se jette dans la mer est l'exutoire du lac Tonga. Il longe la digue qui sépare le plan d'eau de la plaine de Oum Teboul puis s'enfile entre les dunes en suivant le

tracé de ce qui a dû être l'exutoire naturel du lac avant les tentatives d'assèchement (Bouazouni, 2004).

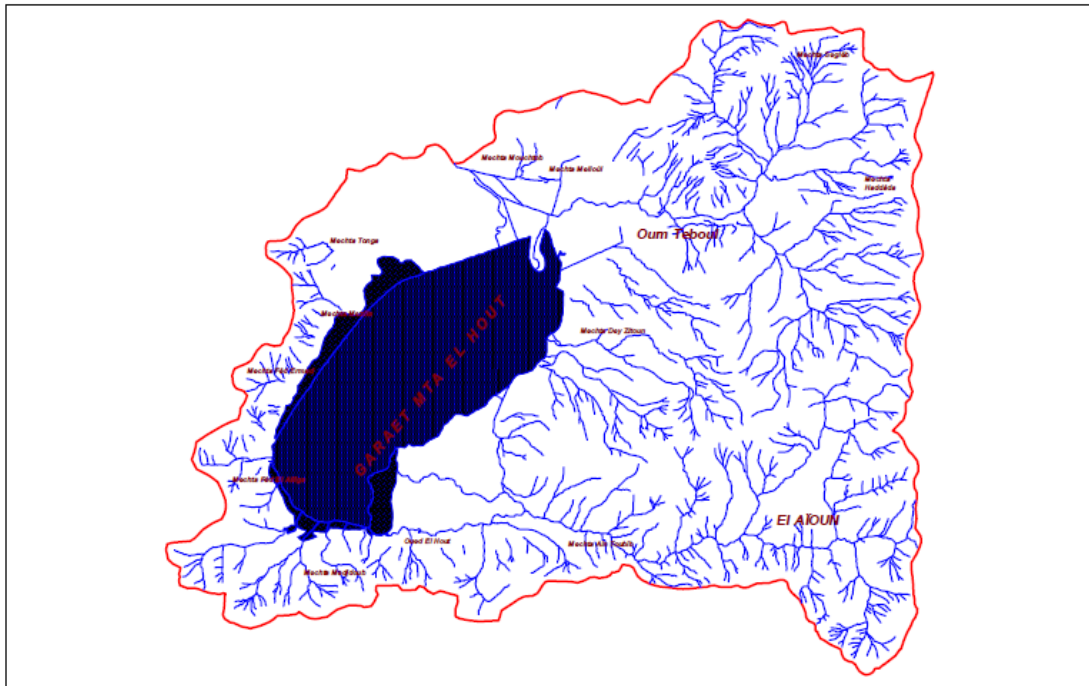


Figure 6. Réseau hydrographique du bassin du lac Tonga, (Bouazouni, 2004).

c- Le bassin versant du lac Oubeira :

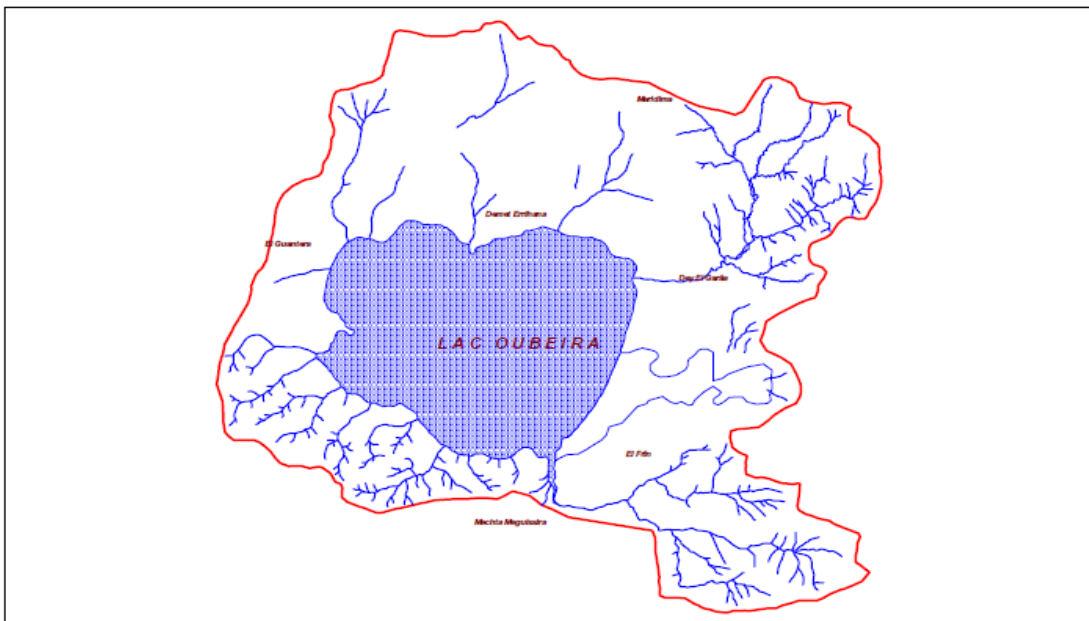


Figure 7. Réseau hydrographique du bassin du lac Oubeira (Bouazouni, 2004).

Le bassin du lac Oubeira (Fig.7) est drainé par quatre principaux cours d'eau qui sont à écoulement pérenne. Les débits sont importants en saison humide mais ils baissent et se réduisent à l'étiage sans pourtant que les oueds s'assèchent totalement. On trouve :

- ✓ Les oueds Demt Rihana et Bou Marchen au Nord
- ✓ L'oued Dey El Garaâ au Nord-Est

✓ L'oued Bou Hchicha au Sud

On rencontre aussi une multitude de petits cours d'eau à écoulement temporaire venant des reliefs du Sud-Ouest pour se jeter dans les eaux du lac. Il faut encore noter le cas particulier de l'oued Messida qui est l'exutoire naturel du bassin versant à l'étiage mais qui coule vers le lac lors des crues hivernales de l'oued El Kébir (Bouazouni, 2004).

6. Climatologie :

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.

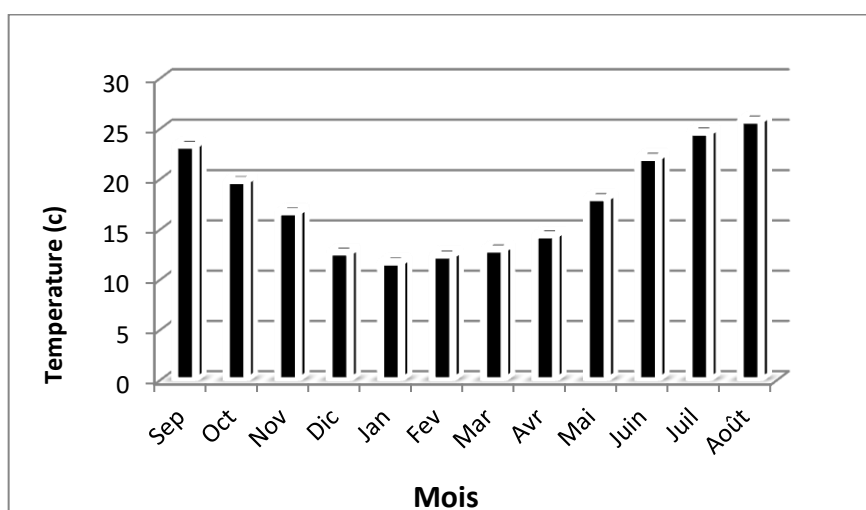
Lors de l'élaboration de cette étude hydroclimatique, on s'est basé sur les données climatiques de la station Bouteldja (El Tarf) couvrant une période d'observation de 26 ans.

6.1- les facteurs climatiques :**a- Les températures :**

Les données récoltées aux mêmes 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 minimums sont enregistrés pendant les mois de Décembre et de Janvier, les maximums sont alors notés pendant les mois de Juillet et d'Août.

Tableau 1. Variation des températures moyennes mensuelles (LAOUINI, 2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dic	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
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

**Figure 8.** Variation des températures moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)**b- L'humidité :**

Ce paramètre est remarquablement particulier pour la région. Les formations marécageuses et lacustres, la proximité de la mer et la présence d'une couverture forestière intense

entretiennent une humidité considérable dont la moyenne mensuelle maximale est atteinte au mois de Janvier avec 78.7 %.

Tableau 2. Humidité moyenne mensuelle (LAOUINI, 2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dic	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
H %	73.5	74.6	75.9	77	78.7	75.2	74.2	74.5	74.9	72.8	69.9	71.9

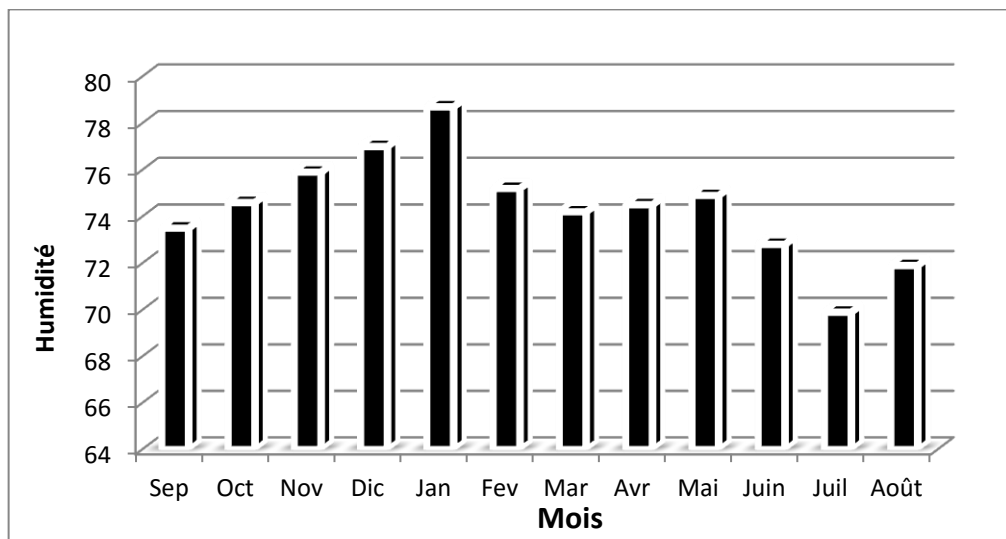


Figure 9. Variation des Humidités moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)

c- Le vent :

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

Tableau 3. Vitesse moyenne mensuelle du vent (LAOUINI, 2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Vitesse (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

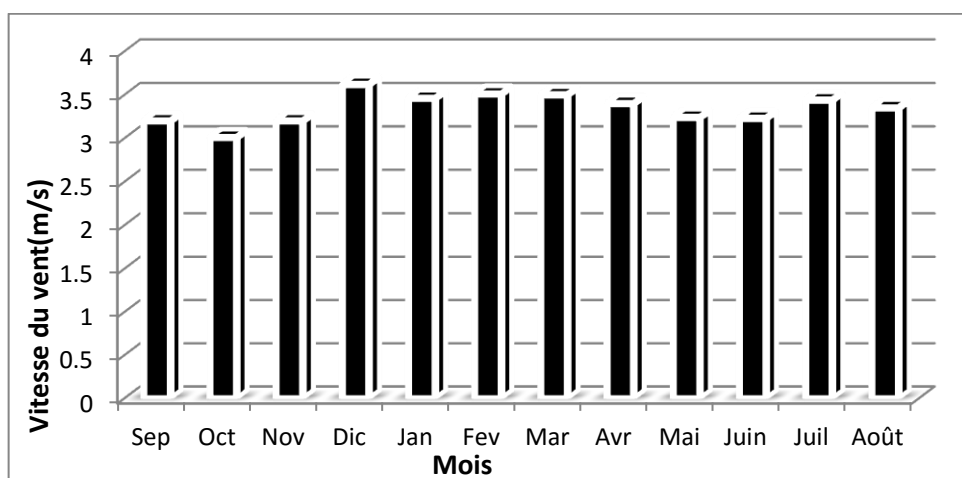


Figure 10. Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (Station de Bouteldja, 1980-2005)

d- Les précipitations :

La précipitation moyenne mensuelle permet d'avoir une idée sur la variation mensuelle et pluriannuelle des précipitations, elle est le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur une période d'années :

Tableau 4. Précipitations moyennes mensuelles (LAOUINI, 2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dic	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Pmoy (mm)	43,7	70	106	118,9	105,2	80,3	66,3	67,5	34,9	18,7	2,15	7,08

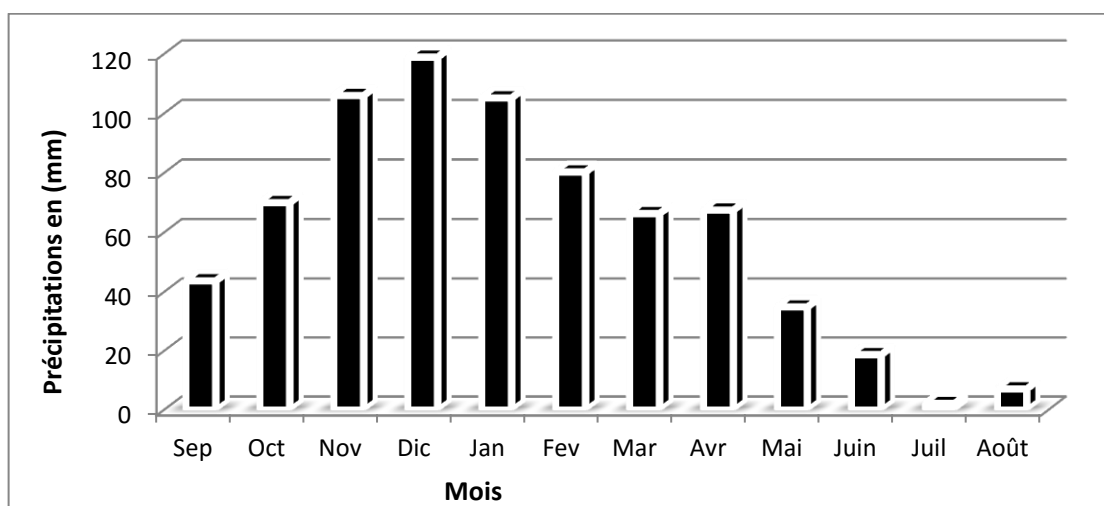


Figure 11. Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Bouteldja, 1980-2005)

6.2- L'indice d'aridité :

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

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

P : Les précipitations moyennes annuelles.

T : la température moyenne annuelle.

Tableau 5. Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE

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

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 Subhumide.

6.3- Diagramme Pluvio-Thermique de Gausсен :

D'après le diagramme (Fig12) 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.

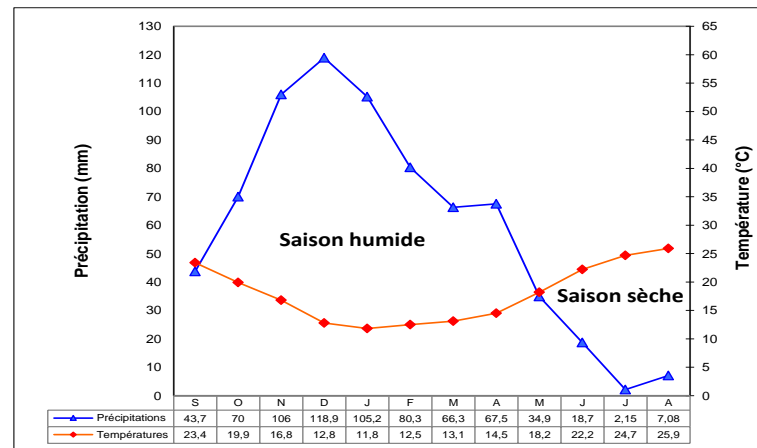


Figure 12. Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN

6.4- Le bilan d'eau :

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.

a. 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 à comprendre le fonctionnement hydrologique et son influence sur notre écosystème lacustre.

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

Le bilan hydrique de la zone d'étude établi par la méthode de permet de ressortir les traits suivants :

- l'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois d'août pour, 147 mm, et elle minime au mois de Janvier 25.3 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.

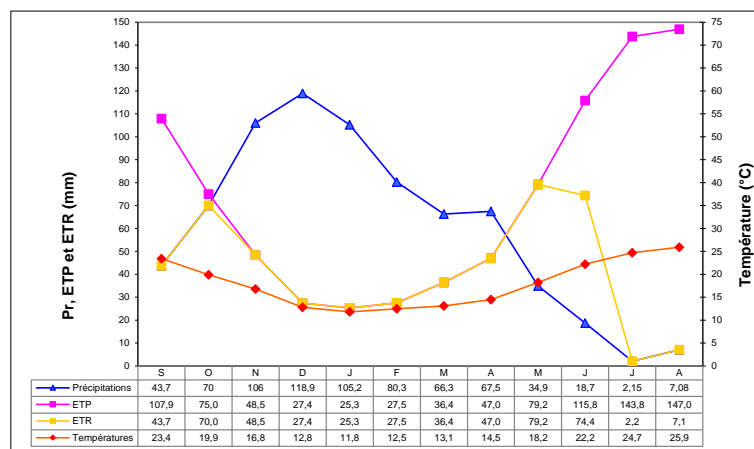


Figure 13. Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques dans la station Bouteldja (1980-2005)

La RFU décroît à partir du mois de Mai jusqu'à 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 79.9 mm
- le déficit agricole (DA) : l'épuisement de la réserve s'annonce au mois de Juin et atteint son maximum au mois de Juillet.

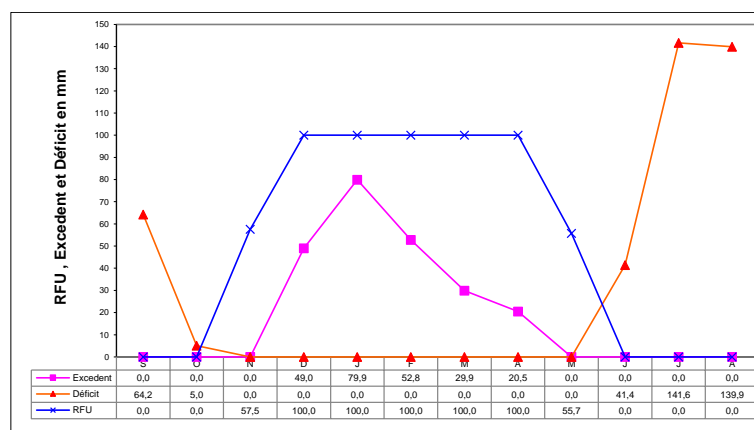


Figure 14. Bilan hydrique (Thorntwaite) dans la station Bouteldja (1980-2005)

b. 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 ». 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-Bercaloff

$$\text{Si } P < 600 \text{ mm : } R = P_3 / 3 (ETP)^2$$

$$P > 600 \text{ mm : } R = P_3 / 3$$

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

Tableau 6. Le Ruissellement selon la formule Tixeront-Berkalof

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

c. L'infiltration efficace (Ic) :

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

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

7. Conclusion :

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

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

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

D'après l'analyse des données climatiques, on constate que la région d'El-Kala a un climat sub-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.

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 secs.

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

Chapitre II

Chapitre II : Matériels et méthodes

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. Matériels utilisés

1.1 Les données satellitaires

1.1.1 Les images (MNT) :

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation 3D de la surface d'un terrain ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude du terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les plantes et les bâtiments.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA (ex-NIMA). Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar.

1.1.2 Les images satellitaires (LANDSAT OLI)

Afin d'étudier l'évolution des états de surface des lacs d'El-kala, nous avons analysé une seule scène d'images Landsat 8 « p193 r34 » des quatre saisons de l'année 2015 (Janvier, Avril, Juillet et Octobre). Cette scène contient 12 bandes. On a utilisé les 6 bandes multi spectrales (3 du visible et trois infrarouges) qui sont : B2, B3, B4, B5, B6 et B7 à 30 m de résolution.

1.1.3 Les images Google Earth

Un jeu de données a été utilisé pour la mise en place de la cartographie diachronique de l'occupation du sol pour les dates les plus récentes. En effet, les images satellitaires de Google Earth de très haute résolution (Images Spot, filiale d'Astrium) ont permis de bien identifier les différentes classes et de faire la correspondance avec leur réponse spectrale sur les images satellitaires « Landsat » de trois dates. Elles ont aussi servi pour la vérification et la validation des classifications.

1.2 Les logiciels utilisés :

1.2.1 Global Mapper :

Est un logiciel de visualisation capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues. Il convertit, édite, imprime, acquière des données GPS, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple.

Un modèle numérique de terrain (MNT) peut être chargé avec une carte topographique pour créer une vue 3D de la carte. Une photographie aérienne numérique peut être drapée en même temps que des données vectorielles pour créer une carte riche en informations.

Il possède des fonctionnalités internes pour le calcul de distances et de superficies, l'ajustement de la luminosité et du contraste des images raster, des requêtes sur les altitudes, la création de contours, l'analyse de bassin versant à partir de MNT.

1.2.2 ArcGis 10.3 :

ArcGis Desktop comprend une suite d'applications intégrées : *ArcMap*, *ArcCatalog* et *ArcToolbox*. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement.

ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches «Nord» et autres éléments.

1.2.3 ENVI 5.1 :

Le logiciel ENVI est un logiciel complet de traitement d'images de télédétection optiques et radar. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. Ce logiciel est fort dans son approche de traitement d'image qui combine les techniques du (file-based) et (band-based) avec des fonctions interactives. Lorsqu'un fichier d'image est ouvert chaque bande est stockée dans une liste puis elle peut être manipulée par toutes les fonctions du système. Si plusieurs fichiers sont ouverts en même temps, on peut sélectionner les bandes qui vont être traitées.

En général, le logiciel dispose essentiellement de tous les outils nécessaires au traitement d'images dans différentes disciplines, et permet pour chacun d'implémenter sa propre stratégie d'analyse (BenMessaoud, 2009).

1.2.4 Google Earth Pro :

Est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Ainsi un habitant d'une métropole peut localiser son restaurant préféré, obtenir une vue en 3D des immeubles de la métropole, alors

que la résolution des photos d'une bonne partie de la Terre est très faible. La couverture, d'après Google, devrait s'améliorer rapidement.

2. Méthodologie générale :

2.1 La modélisation hydrologique :

Le bassin versant topographique est le collecteur des eaux de précipitations qui ruissellent jusqu'au plan d'eau qui en est le réceptacle.

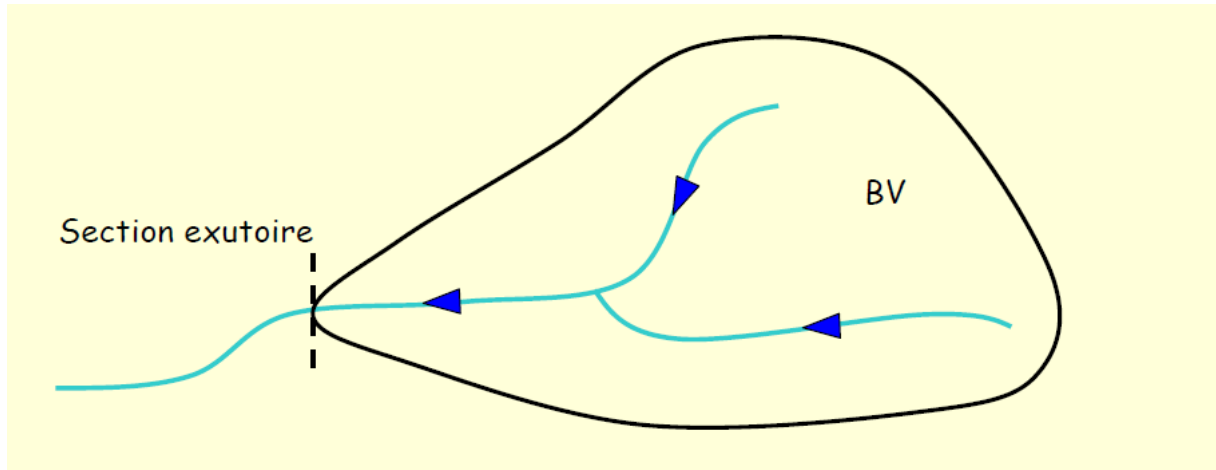


Figure 15. Bassin versant

On considère ainsi que tout le contour du plan d'eau représente un exutoire potentiel. C'est pourquoi le contour du plan d'eau est transformé en points espacés, distance qui correspond à la résolution du MNT. A chaque point sera associé un « sous bassin versant », l'ensemble des sous-bassins formant le bassin versant total du plan d'eau. La délimitation du bassin versant topographique n'a théoriquement besoin que d'un exutoire, à partir duquel les géotraitements permettent de remonter les lignes de plus grande pente et de dessiner les lignes de crêtes.

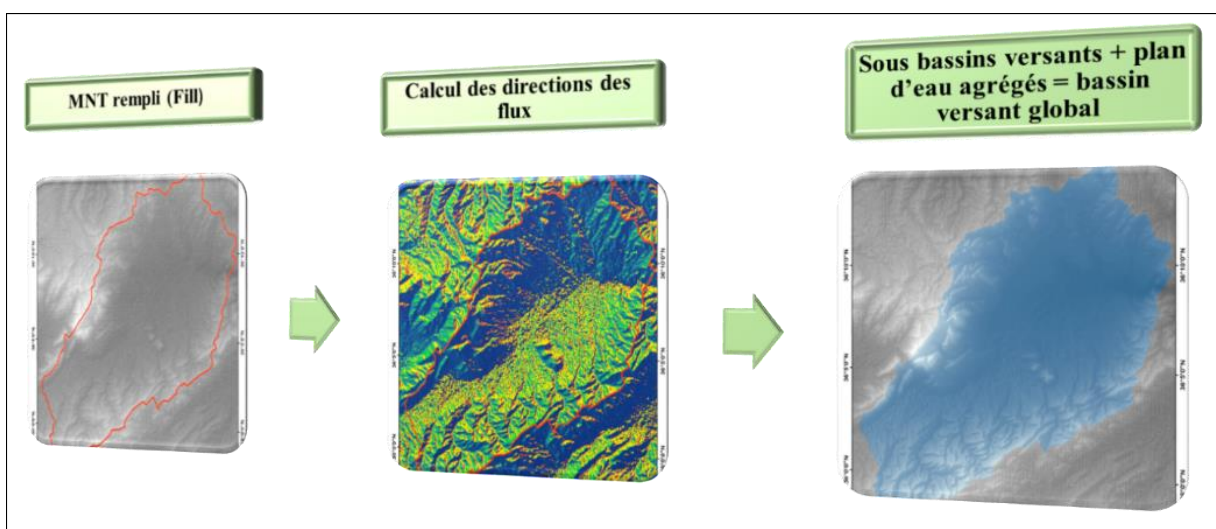


Figure 16. Illustration de la chaîne de géotraitements pour la délimitation du bassin versant d'un plan d'eau

Sous ArcGis le MNT a subi le traitement de remplissage pour donner un modèle hydrologique correct (outil « Fill »), puis les directions de flux ont été calculées (Flow direction) et (Flow accumulation). Le sous bassin versant est ensuite calculé pour chaque point de contour en utilisant l'outil Watershed de « ToolBox ArcGis / Spatial Analyst / Hydrology ». Ces sous bassins versants sont transformés en polygones (couche vectorielle) puis les réunis avec la surface du plan d'eau pour former un bassin versant global (Figure 13).

2.1.1 Processus d'extraction du réseau hydrographique :

Les techniques d'extraction de réseau à partir d'un MNT raster se décomposent, essentiellement en deux approches : celles qui reposent sur une analyse géomorphologique par caractérisation locale des variations altimétriques et celles à inspiration hydrologique en se basant sur le suivi du ruissellement de l'eau.

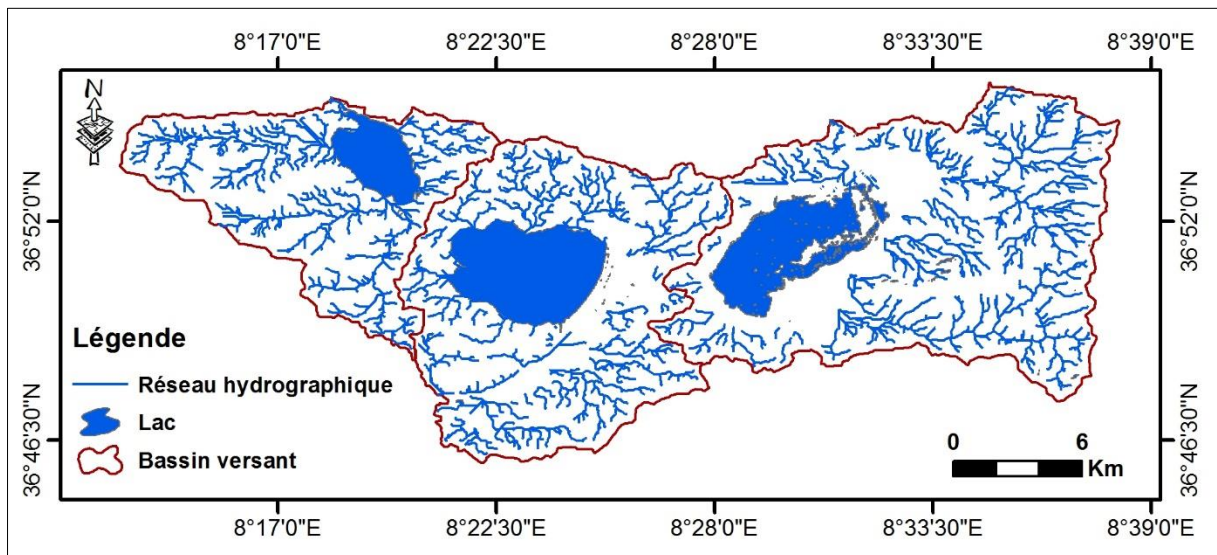


Figure 17. Réseau hydrographique de lacs Mellah Oubeira et Tonga

Dans cette approche, les méthodes d'extraction retiennent le principe d'un cheminement naturel des eaux entraînées par la gravité et guidées par la topographie. Elles s'appuient sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chaque cellule de résolution ou pixel à partir des valeurs altimétriques du MNT, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grande pente. Ainsi les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale et de ceci un ensemble cohérent de talwegs principaux pourra être déduit.

Pour cette raison nous avons utilisé un processus d'extraction du réseau hydrologique basé sur une analyse hydrologique qui utilise le MNT. Les étapes de traitement que nous proposons sont schématisées par l'organigramme fonctionnel donné par la figure 15.

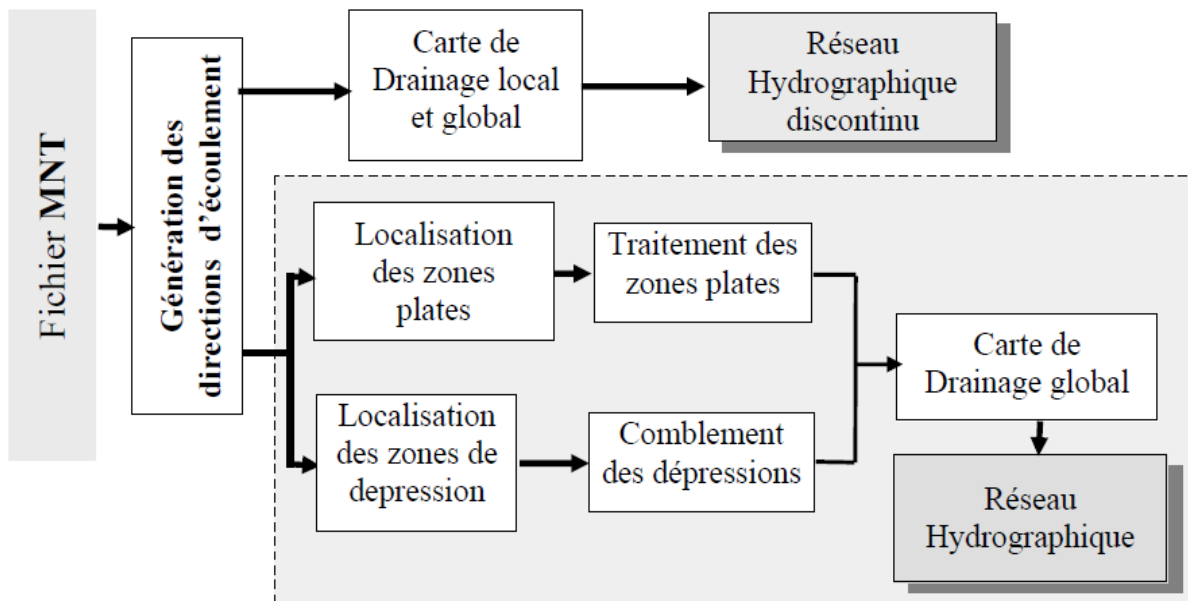


Figure 18. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrologique

2.1.2 Extraction de la carte des pentes :

La pente est un paramètre primordial qui intervient dans la détermination de beaucoup d'indices hydrologiques. Une carte des pentes de qualité est d'une grande importance pour pouvoir analyser correctement un bassin versant (Gunie, 2002).

La Carte des pentes quant à elle est dérivée du MNT sous ArcGIS à partir de *Modules* → *Spatial Analyst tools* → *surface* → *Slope* : Nous obtenons donc une carte des pentes avec des pourcentages variant entre 1 et 100 pour cent.

2.2 Occupation du sol :

2.2.1 Les prétraitements des images :

Les données acquises par télédétection nécessitent donc une série de traitements afin qu'elles soient les plus représentatives possible de la réalité. Pour atteindre notre objectif, notre démarche a été réaliser comme suit (figure 16) :

a. Empilement des bandes spectrales (Layer stacking)

Le prétraitement d'image commence par un empilement spectral des bandes de chaque scène à partir de la commande <layer stacking> dans le logiciel de traitement d'images satellitaires (Envi 5.1), cette étape est utilisée pour simplifier le découpage des 3 dates étudiées.

b. Découpage des une images (Resize data) pour extraire la zone d'étude :

Pour l'extraction du secteur d'intérêt et la correction géométrique de l'image LANDSAT dans le système de référence UTM/WGS 84, fuseau 31N. Nous avons effectué un redimensionnement par « Resize Data » dans le menu principal d'ENVI.

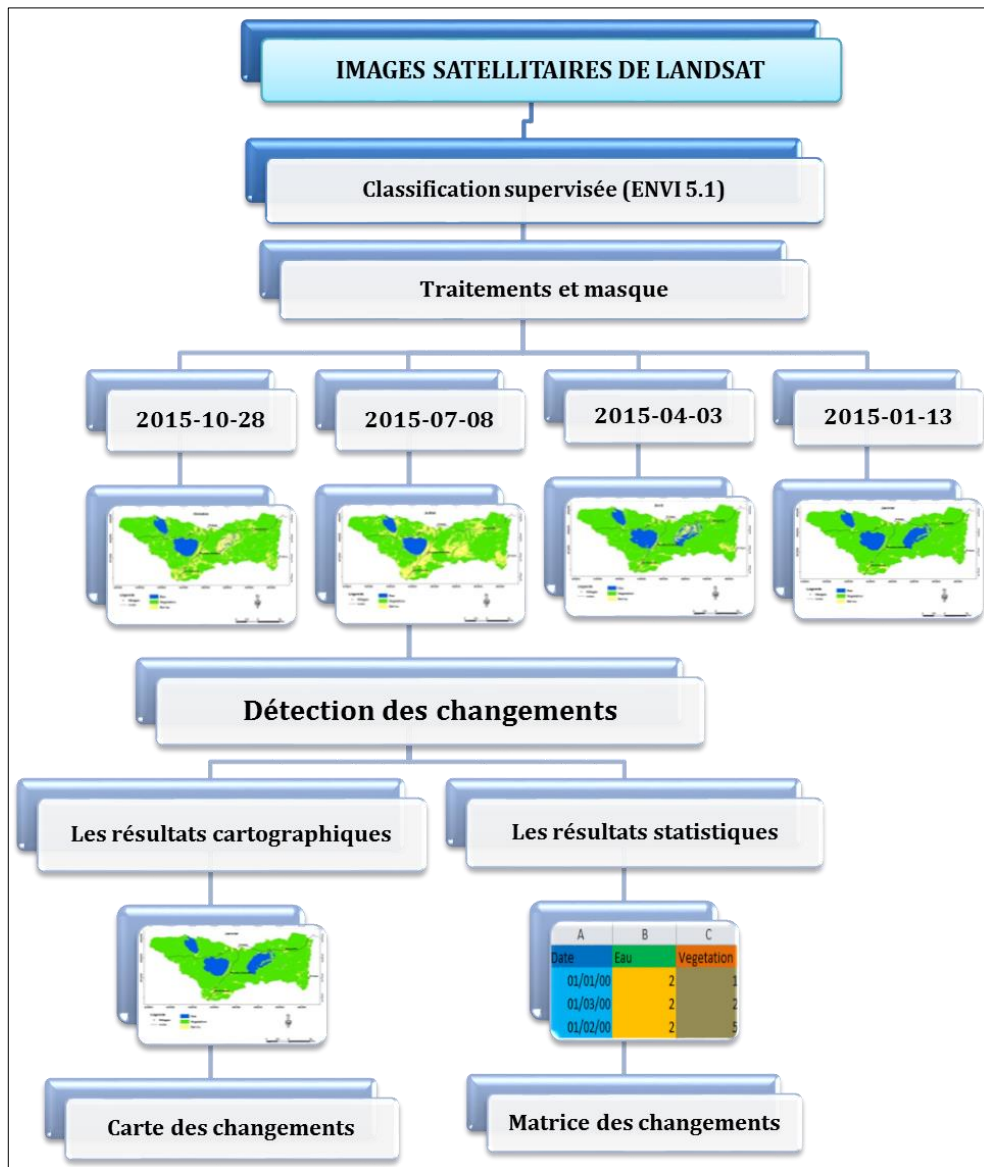


Figure 19. Organigramme du processus général de traitements des images Landsat8

c. La composition colorée :

Dans l’exploitation des images LANDSAT, nous pouvons choisir de faire une analyse combinée en faisant appel aux différentes compositions colorées ou choisir une analyse individuelle, canal par canal.

Les images individuelles apparaissent comme des images à niveaux de gris. Cependant, ils peuvent être combinés pour former des images composites, en affectant à chaque bande spectrale une couleur primaire.

Nous considérons que les trois bandes spectrales sélectionnées présentent le maximum d’information. D’après ce dernier la combinaison des bandes 6 (MIR), 5 (PIR) et 4 (Rouge) représente le maximum d’information pour notre thématique dans la région d’étude. L’analyse des signatures spectrales montre une décorrélation entre les différentes bandes spectrales.

d. Rehaussement des images (Enhance) :

Modifier l'aspect visuel d'une image en vue de faciliter son interprétation. L'aspect visuel d'une image dépend fortement de sa dynamique (contraste).

2.2.2 Classifications des images

Pour faire la classification par « Arbre de décision » du couvert végétal de la zone d'étude, il faut calculer l'indice normalisé de végétation « NDVI » d'une part, et de déterminer le seuil exact caractérisant la végétation d'autre part (Pony et al. 2000).

a. Indice de végétation (NDVI)

On a calculé le NDVI (Normalize Différence Végétation Index) pour chaque date. C'est un indice de végétation qui se définit comme la différence normalisée des mesures de réflectance spectrale acquises dans les zones de longueurs d'onde «Proche Infra-Rouge » (*PIR*) et (*Rouge*).

$$NDVI = \frac{\rho_{(780-900 \text{ nm})} - \rho_{(630-690)}}{\rho_{(780-900 \text{ nm})} + \rho_{(630-690)}}$$

où $\rho_{(630-690 \text{ nm})}$ est la réflectance dans la bande rouge (longueur d'onde comprise entre 630 nm et 690 nm) et $\rho_{(780-900 \text{ nm})}$ est la réflectance dans la bande infrarouge (longueur d'onde comprise entre 780 nm et 900 nm) dans LANDSAT 8 OLI.

Le NDVI est directement lié à l'activité photosynthétique des plantes et donc à la capacité d'absorption énergétique de la canopée du couvert végétal. Il agit comme indicateur de la biomasse chlorophyllienne des plantes. En termes de réflectance dans le PIR et le Rouge, la neige et les nuages se comportent à l'inverse des plantes vertes.

b. Indice de végétation (NDWI) :

L'indice de l'eau (NDWI) (Normalize Différence Water Index) est un indice de satellite provenant de la Proche infrarouge (*NIR*) et infrarouge à ondes courtes (*SWIR*) canaux.

Par analogie avec la procédure proposée pour le système, le NDWI basé sur Landsat 8 OLI bandes 5 et 6 est définie comme suit pour chacune des sept images multispectrales :

$$NDWI = \frac{\rho_{(780-900 \text{ nm})} - \rho_{(1550-1750)}}{\rho_{(780-900 \text{ nm})} + \rho_{(1550-1750)}}$$

où $\rho_{(780-900 \text{ nm})}$ est la réflectance dans la bande 5 de Landsat 8 OLI

et $\rho_{(1550-1750 \text{ nm})}$ est la réflectance dans la bande 6 de Landsat 8 OLI

c. Seuillage des bandes (segment image)

Pour le choix des bandes qui ont le maximum d'information avec une bonne discrimination de la classe à extraire. Afin de réaliser la classification par arbre de décision on a choisi les seuils suivants :

Tableau 7. Les seuils des néo-canaux utilisés pour la classification

Date	13/01/15		03/04/15		08/07/15		28/10/15	
	Bande	Seuil	Bande	Seuil	Bande	Seuil	Bande	Seuil
Eau	NDWI	> 0.02	NDWI	> -0.02	NDWI	> -0.05	NDWI	> 0.035
Couvert Végétal	NDVI	> 0.125	NDVI	> 0.22	NDVI	> 0.25	NDVI	> 0.21

d. Classifications par Arbre de décision :

Un des objectifs de traitement d’images satellitaires est d’obtenir une carte des états de surface. Ce plan s’obtient par la classification des données de télédétection. Cette classification consiste à regrouper des pixels en catégories les plus homogènes possibles, c’est-à-dire créer des classes contenant le plus de pixels similaires. La partition de l’image en ensembles de pixels représentant une même occupation du sol.

Le principe des arbres de décision est de partitionner les données de façon que la distribution de la variable réponse diffère le plus possible d’une classe (Couvert végétal) à l’autre (sol nu). Par éclatements successifs des nœuds, en partant du nœud initial, chercher l’attribut qui génère le meilleur éclatement (le plus discriminant). Répéter à chaque nœud jusqu’à la satisfaction d’un critère d’arrêt (gain minimal d’info, taille minimale des nœuds, ...),(Tong and Koller, 2001)

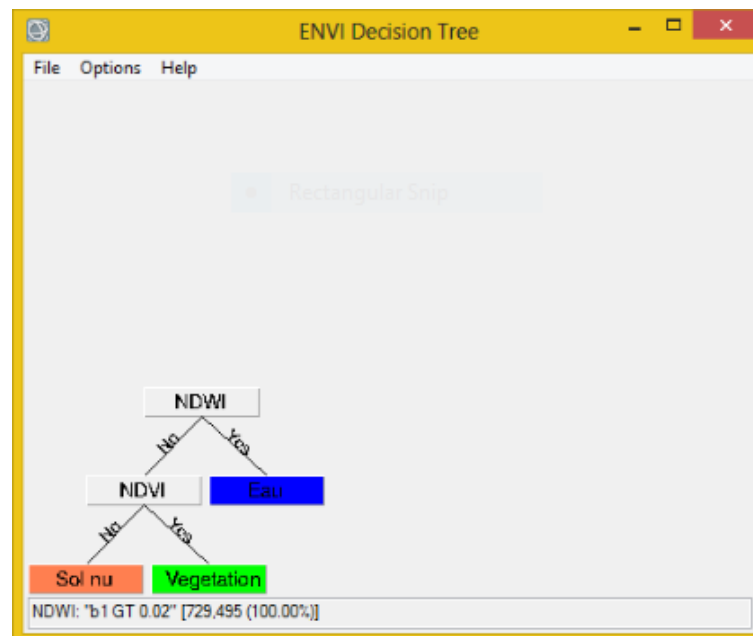


Figure 21: Classification par arbre de décision

e. Masquage :

Notre projet porte sur l’évolution de l’eau. Cependant, une grande partie de l’image hors le bassin versant. Pour l’exactitude des résultats, ainsi que pour simplifier les opérations de

classification sur l'image, le masquage de la partie hors le bassin était nécessaire pour limiter les zones étudiées.

2.2.3 La détection des changements :

On utilise la fonction « Change Détection » d'ENVI, c'est la comparaison entre deux classifications de deux dates produit une matrice et une carte de changement entre l'état initial et l'état final. Les images d'entrée peuvent être mono-bande de différents types de formats d'images.

a. Les matrices de changements :

L'utilisation des statistiques de détection des changements permet de compiler un tableau détaillé des changements entre deux classifications. Les modifications détectées à l'aide de cette fonction sont différents de la discrimination ordinaire des deux images : une analyse de changement de l'état initial de chaque classe de l'image par rapport à l'état final est donnée sous forme d'un rapport. Ce rapport contient les informations de changement entre les deux images en nombre de pixels, en pourcentage et en unité de surface (m²). C'est cette dernière qu'on va utiliser dans notre travail pour construire la matrice « Change Détection Différence Map » (Girard et Girard, 1999).

b. Les cartes de changements :

On utilise la fonction «Thematic Change Workflow » de l'ENVI, les cartes de classifications produisent des cartes de changement entre l'état initial et l'état final. Les images d'entrée peuvent être mono-bande de différents types de formats d'images.

La différence est calculée en faisant la soustraction entre l'image de l'état final et celle de l'état initial et les classes sont définies après validité des seuils.

2.2.4 Cartographie par ArcGis 10.3 :

La cartographie englobe un grand nombre de notions, et joue un rôle spécial dans les SIG. Elle présente des regroupements logiques d'informations géographiques sous forme de couches. Ce qui nous a conduits d'effectuer les opérations suivantes :

- ✓ Extraction des classes de chaque carte de classification et de changement réalisée sous ENVI.
- ✓ Création d'un fichier pour stocker les informations sous la forme de couches thématiques pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie.
- ✓ Transféré les différentes couches extraites d'ENVI vers ArcGis 10.3, sous forme vecteur (Shapefile) pour les différentes classes, d'une part. Sous forme raster pour les compositions colorées (Géotiff), d'autre part.
- ✓ La mise en page afin d'organiser les éléments cartographiques (bloc de données, barre d'échelle, légende ... etc.) pour l'impression de la carte.

Chapitre III

Chapitre III : Résultat et discussion

Introduction :

La présentation des quatre cartes de classification fait ressortir visuellement une nette évolution des états de surface dans la région qui nous intéresse dans notre travail. On remarque notamment une augmentation ou/et la diminution de la surface de plan d'eau et du couvert végétal dans le temps. Mais cela reste visuelle et sans aucune quantification, ni dans le temps ni dans l'espace. C'est pourquoi on fait appel à d'autres techniques pour estimer la surface de plan d'eau et du couvert végétal et déterminer leurs évolutions.

1. Hydrologie :

1.1- Bassin versant :

Suivant le tableau 7 suivant, les périmètres et le surface des lacs Mellah, Oubeira et Tonga dans l'étude de changements des trois lacs, nous avons combiné les trois bassins par ArcGis pour simplifier le calcul et la comparaison

Tableau 8. Les périmètres et les surfaces de bassin versant des lacs

Bassins versants	Oubeira	Mellah	Tonga
Surface (ha)	13104	8285	16586
Périmètre (km)	58,88	50,92	69.32

1.2- Le réseau hydrographique :

Le bassin versant du Lac Mellah (Fig.20) est caractérisé par son exutoire au Nord-Ouest par le « lac Mellah ». Ce lac draine le bassin versant essentiellement sur la partie occidentale par trois oueds (oued Reguibat, oued El Mellah et oued El Aroug).

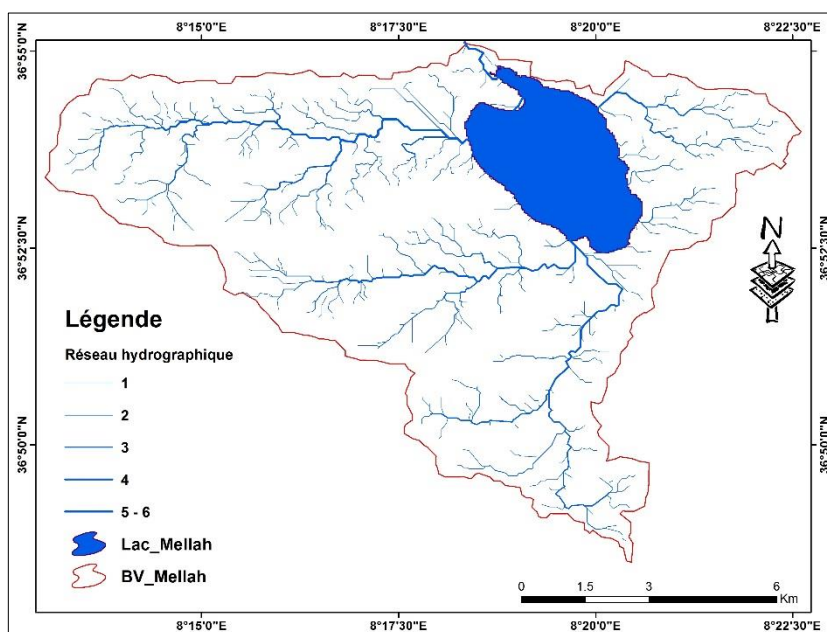


Figure 20. Réseau hydrographique de lac Mellah

Le lac Oubeira draine le bassin versant (Fig.21) par quatre principaux cours d'eau (oued *Demt Rihana*, oued *Bou Marchen*, oued *Dey El Garaâ* et oued *Bou Hchicha*) qui sont à écoulement pérenne, mais leurs débits baissent et se réduisent à l'été sans pourtant qu'ils s'assèchent totalement. Une multitude de petits cours d'eau à écoulement temporaire venant des reliefs du Sud-Ouest pour se jeter dans les eaux du lac.

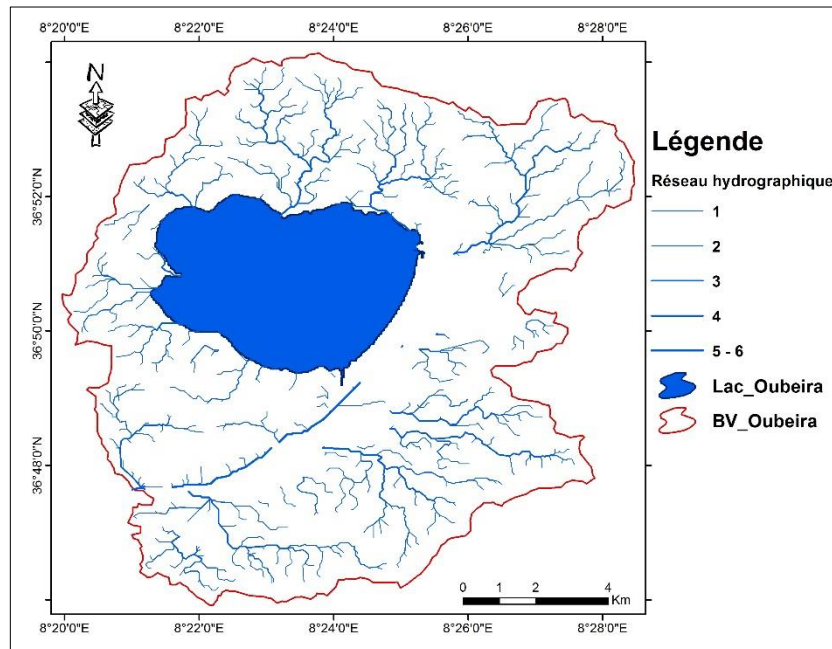


Figure 21. Réseau hydrographique de lac Oubeira

Le lac Tonga (Fig.22) reçoit ses eaux par le drainage du bassin versant dans sa partie orientale montagneuse par deux principaux oueds pérennes (oued *El Eurg* et oued *El Hout*) mais leurs débit se réduit considérablement en période estivale. Une multitude de cours temporaires qui coulent dans les thalwegs à l'Ouest, au Sud-Ouest et au Nord du bassin versant contribuent temporairement, lors des crues, à l'alimentation du plan d'eau.

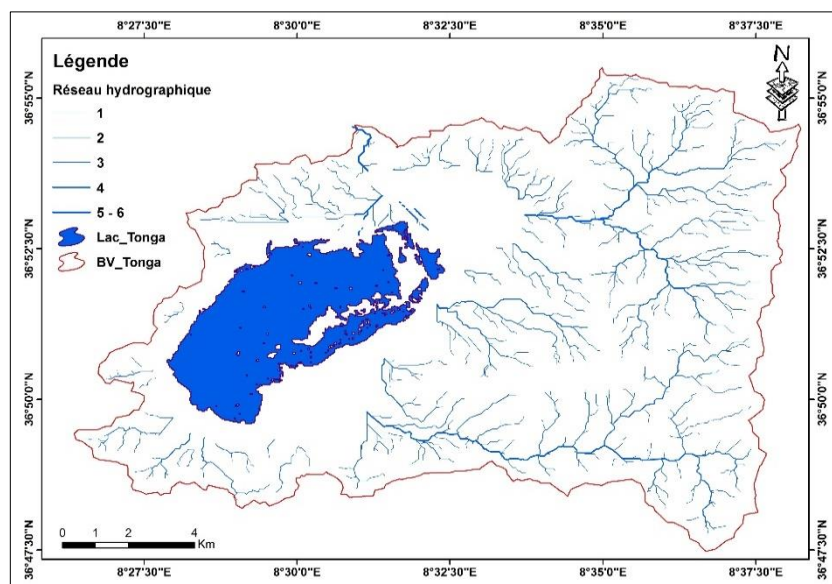


Figure 22. Réseau hydrographique de lac Tonga

2- Classification :

La thématique de notre travail se base sur la détermination des 3 classes (*surface de plan d'eau, Couvert végétal, Sol nu*). À l'aide de la reconnaissance du terrain, cela nous a aidés à effectuer la phase d'apprentissage par seuillage des nouvelles bandes (*néo-canaux*) calculées qui sont l'indice de végétation (*NDVI*) et l'indice de l'eau (*NDWI*).

2.1- La classification en hiver (Janvier) :

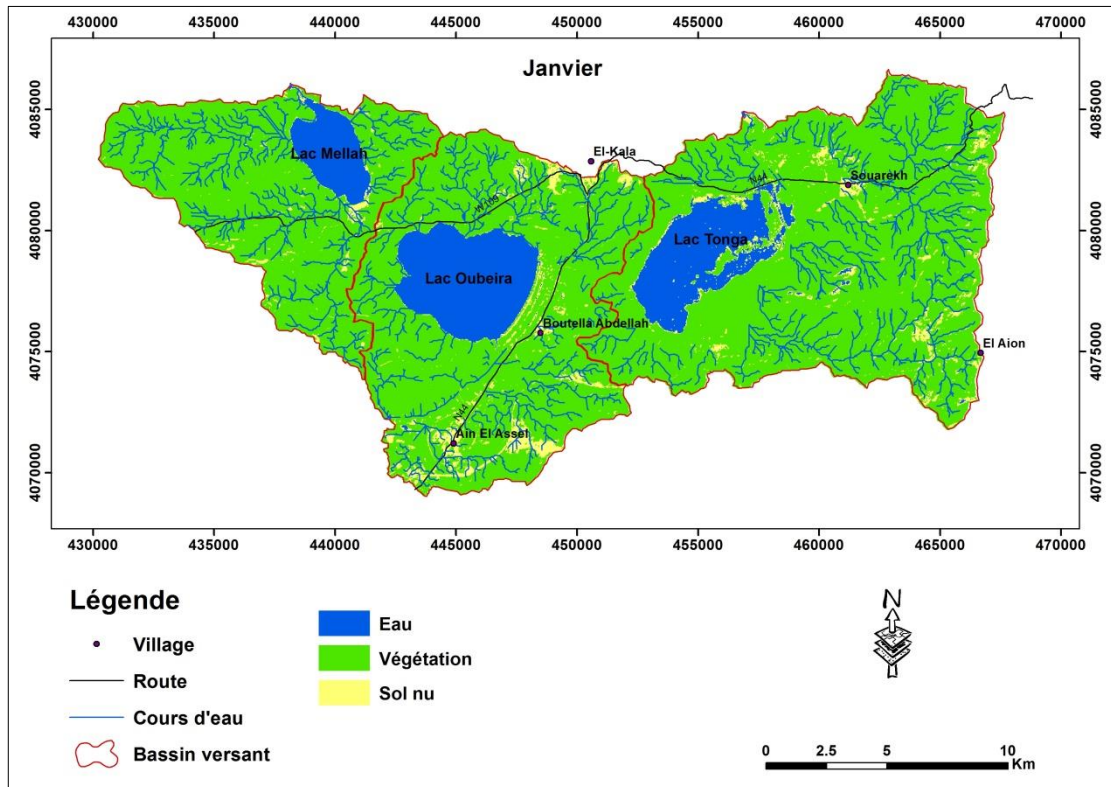


Figure 23. Carte de classification de Janvier

Au cours du mois de Janvier (Fig.23), nous notons que les trois lacs Mellah, Oubeira et Tonga ont les plus grandes valeurs des surfaces de plan d'eau enregistrés dans l'année qui sont respectivement de 837 ha, 2111 ha et 1791 ha. Donc en Janvier les trois lacs semblent tout à fait recouvert d'eau, cela est dû à la saison hivernale très humide.

2.2. La classification en printemps (Avril) :

Le changement de surface de plan d'eau au cours du mois d'Avril est très clair dans le lac Tonga avec une surface de 1121.04ha. Le centre du lac est à sec et se transforme en Sol nu et en végétations et reste toujours de l'eau aux bords du lac. Egalement pour les lacs Oubeira et Mellah à travers l'espace d'eau, le volume d'eau du lac Oubeira en avril est 2330.46ha, traduit un apport d'eau augmentant la surface de 219ha. Le volume d'augmentation est 9ha plus de surface de plan d'eau en Mellah par rapport mois de Janvier .

Alors que la végétation reste stable sur le même espace et une augmentation marquée dans certains endroits pour le Sol nu. (fig.24)

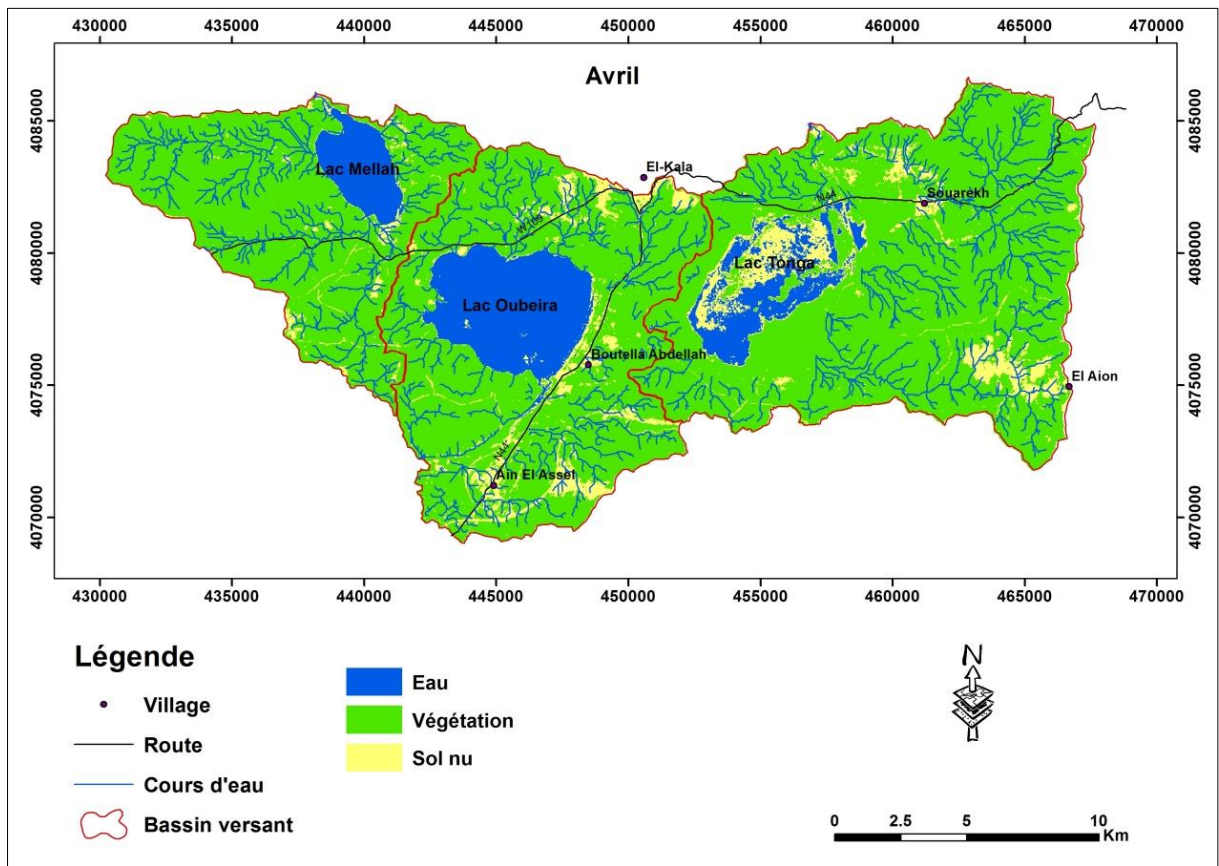


Figure 24. Carte de classification en Avril 2015

2.3- La classification en été (Juillet) :

Le lac Tonga est asséché presque entièrement dans le mois de Juillet. il se transforme en une zone couverte par la végétation et le sol nu avec une très petite quantité d'eau, seulement 13ha reste couverte par l'eau. Cela est dû par le fait de la température élevée et des faibles précipitations dans cette période, voire inexistante.

La surface du plan d'eau séché s'observe à la périphérie du lac mellah 26.19ha moins que l'état de surface en Avril. De même pour Oubeira avec 381.24ha de diminution par un léger assèchement en raison de la profondeur des deux lacs.

La végétation a diminué aussi de façon spectaculaire et significative au cours de la période comprise entre avril et juillet. L'espace couvert par le sol nu a commencé d'apparaître clairement. (fig.25)

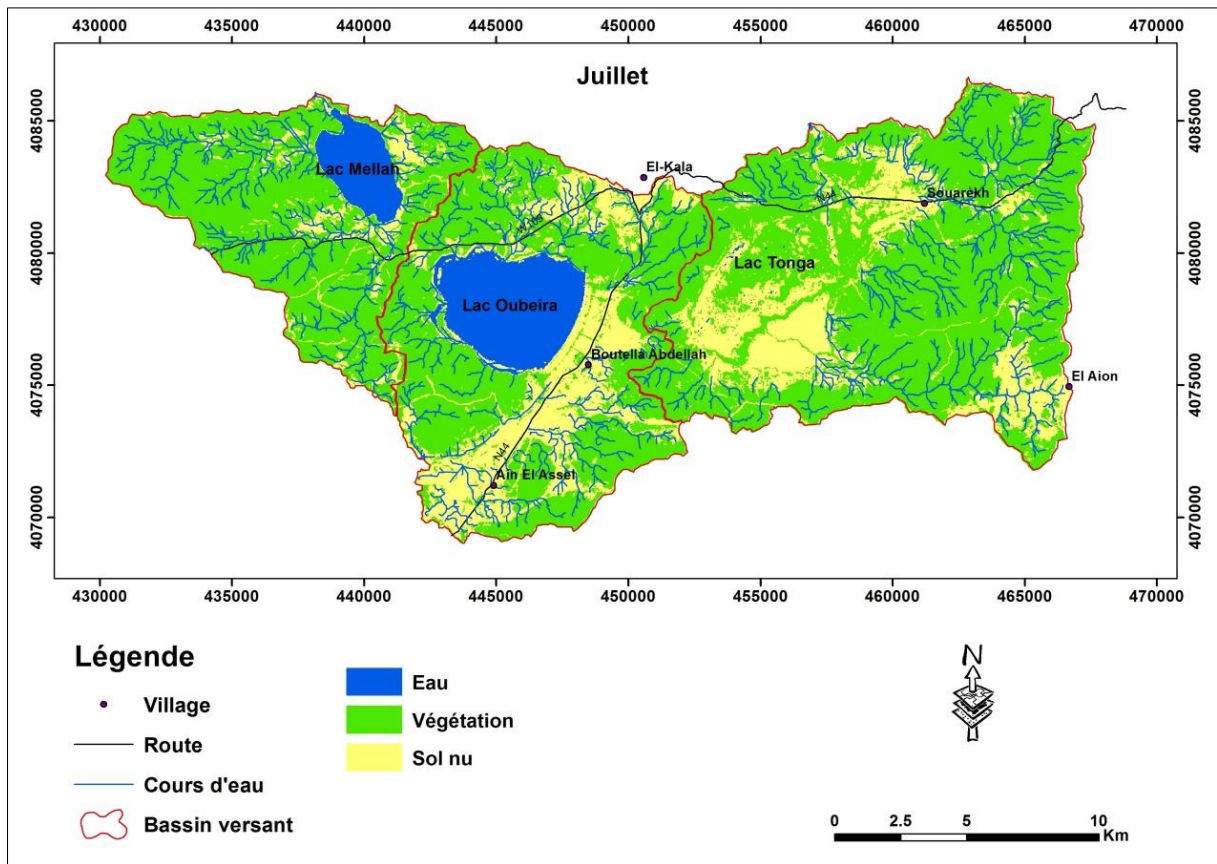


Figure 25. Carte de classification de juillet

2.4- La classification en automne (Octobre) :

L'augmentation de l'eau légèrement au cours de la période Juillet-Octobre dans le lac Tonga (273.06ha) considérablement et cela est dû à la pluie qui a eu lieu au cours de cette période, tout en maintenant Mellah et Oubeira sur le même niveau de l'eau avec une légère augmentation par rapport à la période précédente Mellah 867.06ha Oubeira 2013.57ha d'eau La végétation a également augmenté, elle couvre une superficie plus grande que dans la période entre Avril et Juillet et l'espace de sol nu est diminué. (fig.26)

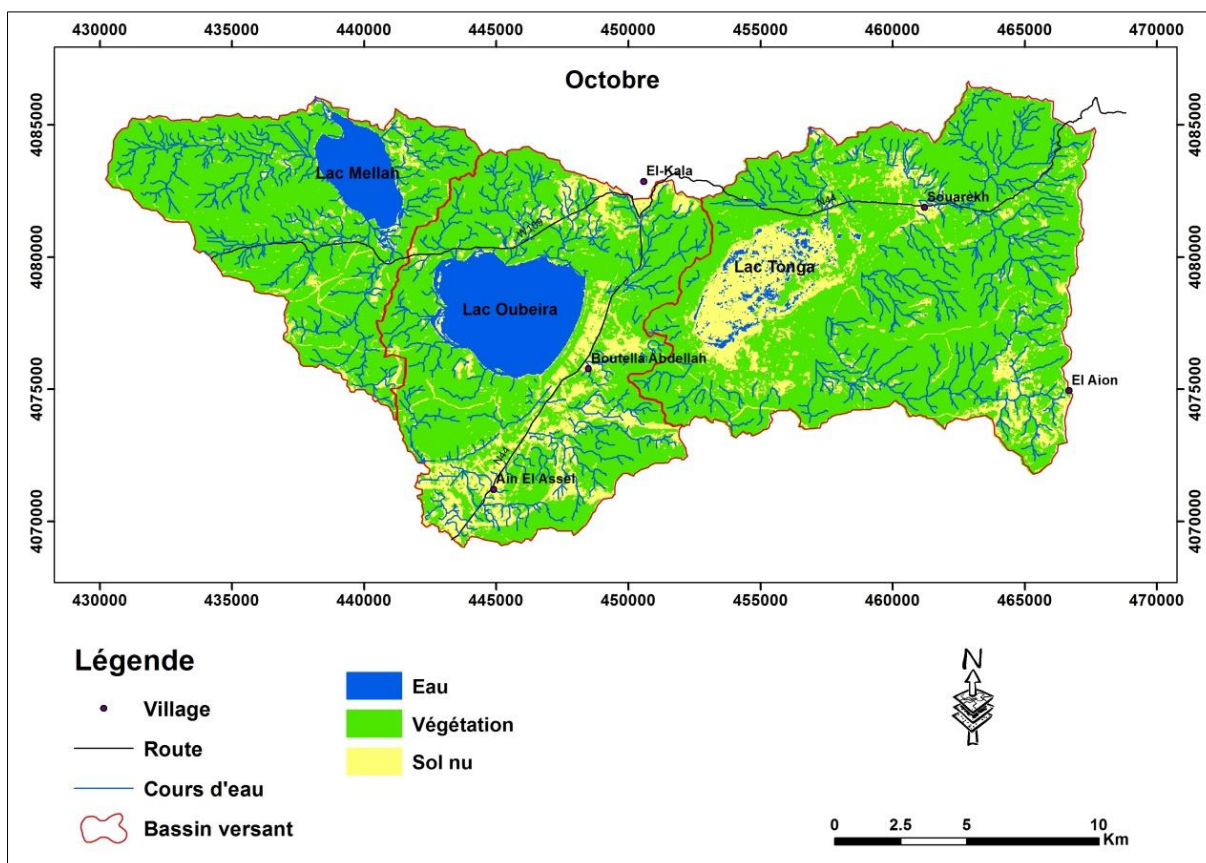


Figure 26. Carte de la classification du mois d’Octobre

3- Evolution temporelle des états de surface (Change détection) :

Afin d’étudier l’évolution entre les saisons, on a utilisé les trois intervalles Janvier - Avril, Avril - Juillet et juillet – Octobre. Puis l’intervalle de changement entre quatre saisons permet la comparaison entre les trois couples de changement précédent. (tab.9)

3.1- Les matrices de changement :

Cette étude statistique a donné une estimation des surfaces changées et inchangées entre deux saisons (tableaux). Cette étape indique un changement remarquable entre les saisons.

3.1.1- Les changements entre (Janvier et Avril) :

Tableau 9. Matrice de changements entre (Janvier et Avril)

Classes		Janvier			Class Total
		Eau	Sol nu	Végétation	
Avril	Eau	4004.91	134.82	166.32	4306.05
	Sol nu	656.37	1242.09	1340.91	3239.37
	Végétation	101.16	445.32	29904.21	30450.69
	Class Total	4762.44	1822.23	31411.44	
	Class Changes	757.53	580.14	1507.23	
	Image Différence	-456.39	1417.14	-960.75	

a- Les surfaces inchangées :

Les surfaces inchangées sont l'eau de 4004.91 ha, la végétation de 29904.21 ha et le Sol nu de 1242.09.

b- Les surfaces changées :

Entre les deux mois (Janvier et Avril), l'eau perd une surface de 757ha, dont 656 ha ont devenu Sol nu et 101.16ha transforment en végétation. En même temps, on marque un gain de surface de plan d'eau de 301.14ha, où 166.32ha au détriment de la végétation et 134.82ha par envahissement du Sol nu.

Si on compare les pertes et les gains, on voit clairement que le bilan est négatif, où on a dans l'ensemble une perte de surface de plan d'eau égale de 456.39 ha.

Une surface de 445.32ha de végétation se transforme en Sol nu, par contre 1340.91ha de Sol nu se transforme en végétation.

3.1.2- Les changements entre (Avril et Juillet) :**Tableau 10.** Matrice de changements entre (Avril et Juillet)

	Classes	Avril			Class Total
		Eau	Sol nu	Végétation	
Juillet	Eau	2767.32	15.57	0	2782.89
	Sol nu	1094.22	2125.35	5850.9	9070.47
	Végétation	444.51	1098.45	24599.79	26142.75
	Class Total	4306.05	3239.37	30450.69	
	Class Changes	1538.73	1114.02	5850.9	
	Image Différence	-1523.16	5831.1	-4307.94	

a- Les surfaces inchangées :

Les plans d'eau inchangée n'ont que 4004.91 ha entre Janvier et Avril. Mais entre Avril et Juillet a diminué à 2767.32ha avec un taux de stabilité de 69.09%. Le Sol nu reste inchangé d'une surface de 2125.35ha et celle de la végétation est de 24599.79ha.

b- Les surfaces changées :

Le changement des surfaces de plan d'eau représente une perte de 1538.73ha soit 34%. Cette perte d'eau après son évaporation est envahie par la végétation de 444.51ha et reste 1094.22ha comme sol nu. Le gain d'eau de 15.57ha est le résultat d'une émergence du Sol nu par l'eau. Si on compare les pertes et les gains, on voit clairement que le bilan est négatif, où on a dans l'ensemble une perte de surface de plan d'eau égale 1522.73 ha.

3.1.3- Les changements entre (Juillet et Octobre) :

a- Les classes inchangées :

Au cours de la période Juillet-Octobre l'espace d'eau inchangé de 2767.32ha est le même que la période Avril-Juillet. Bien que l'espace à base de végétations et de Sol nu ont changé et cela peut être dû au fait que l'eau que nous avons étudié dans trois lacs indépendants les uns des autres, donc pour le surface de plan d'eau peut augmenter dans certains d'entre eux et diminue dans l'autre. Cette période a montré un gain d'eau de 379.8ha du aux précipitations d'automne. La surface de la végétation inchangée est de 24738.66ha il est diminuée par une valeur de 138.69 ha par rapport à avril-juillet 4673.97ha mais le Sol nu reste inchangée.

Tableau 11. Matrice de changements entre (Juillet-Octobre)

Classes		juillet			Class Total
		Eau	Sol nu	Végétation	
Octobre	Eau	2767.32	342.27	53.1	3162.69
	Sol nu	15.57	4673.97	1350.99	6040.53
	Végétation	0	4054.23	24738.66	28792.89
	Class Total	2782.89	9070.47	26142.75	
	Class Changes	15.57	4396.5	1404.09	
	Image Différence	379.8	-3029.94	2650.14	

b - Les classes changées :

Le changement des surfaces de plan d'eau représente une perte de 15.57ha. Cette perte d'eau est transformée en sol nu de 15.57ha. La surface du gain d'eau est de 395.37ha, Si on compare les pertes et les gains, on voit que le bilan est positif, où on a dans l'ensemble un gain de surface de plan d'eau égale 379.8 ha.

c- comparaison entre l'eau et la végétation :

La surface de la végétation est très grande par rapport à l'eau mais il faut noter qu'ils ont presque le même comportement car il réduit la surface de végétation si l'espace d'eau diminué en été par exemple, et lorsque la quantité d'eau augmente, comme dans la période Janvier-Avril, lorsque la superficie de l'eau de 4004.91 ha la végétation aussi prendre plus grande surface valeur 29904.21 ha comme les quatre saisons de l'année, voir (fig.27)

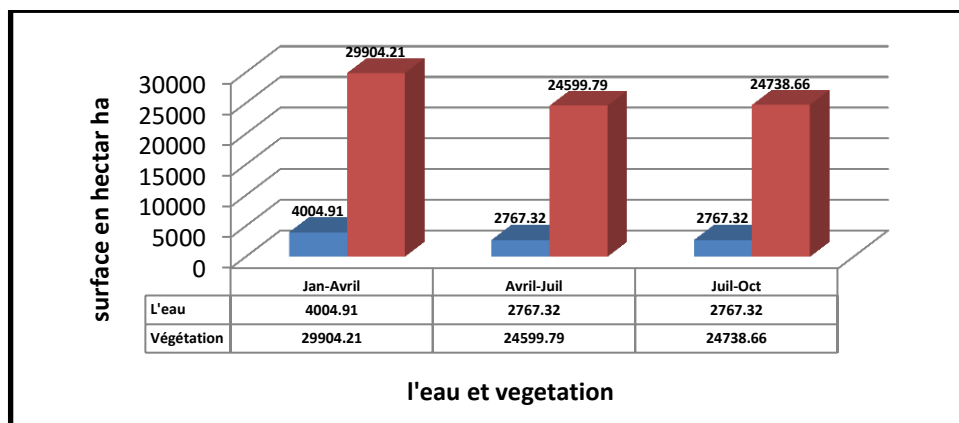


Figure 27. Evolution de la surface de plan d'eau et de végétation au cours de quatre saisons

3.1.4- Les changements entre (Janvier-Avril et Avril Juillet) :

a- Les classes inchangées :

La surface de plan d'eau inchangée est de 2780.73ha, du Sol nu est de 1038.78ha et celle de la végétation est de 24675.75ha.

b- Les classes changées :

L'évaporation ou l'infiltration des eaux de surface sous l'effet de la température conduit à une perte d'eau de 1288.71ha entre Janvier et Juillet, en même temps dans cette période on a un gain de 264.6ha. Le bilan est négatif, où on a dans l'ensemble une perte de surface de plan d'eau égale 1024.11ha.

Tableau 12. Matrice de changements entre (Janvier-Avril et Avril Juillet)

		Janvier-Avril					Class Total	
classes		Eau inchangé	Perte d'eau	Sol nu inchangé	Gain d'eau	Classe change		Végétation inchangée
Avril-Juillet	Eau inchangé	2780.73	0	0.54	0	0	0.27	2781.54
	Perte d'eau	1224.9	5.85	3.06	247.68	14.22	4.32	1500.03
	Sol nu inchangé	8.37	100.62	1038.78	1.89	628.02	225.9	2003.58
	Gain d'eau	0	12.33	0	0	0	0	12.33
	Classe change	49.5	537.03	133.02	2.25	405.9	5560.74	6688.44
	Végétation inchangée	5.94	88.47	12.15	0.45	227.43	24675.75	25010.19
	Class Total	4069.44	744.3	1187.55	252.27	1275.57	30466.98	
	Class Changes	1288.71	738.45	148.77	252.27	869.67	5791.23	
Image Différence	-1287.9	755.73	816.03	-239.94	5412.87	-5456.79		

3.1.5- Les changements entre (Avril-Juillet et Juillet-Octobre) :

a- Les classes changées :

Entre avril et octobre la perte d'eau totale est 10.26ha, dont 3.6ha vers le Sol nu et 0.72ha vers la végétation. Il y a aussi un gain d'eau de 26.46ha au détriment des autres classes. Le bilan est positif, où on a dans l'ensemble un gain d'eau égale 16.2ha.

b- Les classes inchangées :

L'eau inchangée est d'une de 2771.28ha, la végétation de 24579.45ha et le Sol nu de 1782.27ha. (tab.13)

Tableau 13. Matrice de changements entre (Avril-Juillet et Juillet-Octobre)

	classes	Avril-Juillet						Class Total
		Eau inchangé	Perte d'eau	Sol nu inchangé	Gain d'eau	Classe change	Végétation inchangée	
Juillet-Octobre	Eau inchangé	2771.28	10.8	3.15	12.33	0	0.18	2797.74
	Perte d'eau	4.5	0.45	0	0	0	0	4.95
	Sol nu inchangé	3.6	632.52	1782.27	0	2087.64	124.92	4630.95
	Gain d'eau	0.9	286.74	28.44	0	3.06	1.71	320.85
	Classe change	0.54	386.28	166.41	0	4009.5	303.93	4866.66
	Végétation inchangée	0.72	183.24	23.31	0	588.24	24579.45	25374.96
	Class Total	2781.54	1500.03	2003.58	12.33	6688.44	25010.19	
	Class Changes	10.26	1499.58	221.31	12.33	2678.94	430.74	
Image Différence	16.2	-1495.08	2627.37	308.52	-1821.78	364.77		

3.1.6- Les changements entre (Jan-Avril-Juil. et Avril-Juillet-Octobre) :

a- Les classes inchangées :

Le plan d'eau qui a resté, durant les quatre saisons de l'année 2015, fixe et n'a pas subi de changement malgré les conditions météorologiques est de 2784.78ha, de 24630.21ha de végétations inchangées et de 1025.19ha de Sol nu aussi.

b- Les classes changées :

La valeur de 9.99ha est le volume de la perte d'eau entre Janvier et Octobre 2015, Cette période a montré une augmentation des surfaces de plan d'eau dans la zone d'étude par un gain d'eau de 311.13ha. Le bilan est positif aussi, où on a dans l'ensemble un gain d'eau égale à 301.14ha.

Tableau 14. Matrice des changements entre Avril -Juillet-Octobre et Janvier -Avril-Juillet

	classes	Janvier-Avril-Juillet						Class Total
		Eau inchangé	Perte d'eau	Sol nu inchangé	Gain d'eau	Classe change	végétation inchangée	
Avril-Juillet-Octobre	Eau inchangé	2784.78	9.09	0.54	0	0	0.9	2795.31
	Perte d'eau	5.31	1169.01	0	0	9	2.79	1186.11
	Sol nu inchangé	1.17	101.34	1025.19	0	609.21	79.11	1816.02
	Gain d'eau	0.99	285.93	23.49	10.98	0	0.72	322.11
	Classe change	0.27	684.36	18.36	0	6072.03	187.11	6962.13
	végétation inchangé	2.25	19.26	3.06	0	259.65	24630.2	24914.43
	Class Total	2794.77	2268.99	1070.64	10.98	6949.89	24900.8	
	Class Changes	9.99	1099.98	45.45	0	877.86	270.63	
Image Différence	0.54	-1082.88	745.38	311.13	12.24	13.59		

4- La cartographie des changements :

a- Changement « Janvier-Avril » :

Les trois lacs apparaissent dans cette période pleine d'eau et n'a pas changé de manière significative, en particulier Mellah par une superficie inchangée de 844.47ha d'eau, Oubeira de 2112.66ha et lac Tonga de 1108.44ha. Ce dernier présente une large bande en couleur violet montrant la perte d'eau. Il y a aussi une grande surface de la végétation au centre du lac. La végétation il semble répandu dans les grandes zones et n'a pas beaucoup changé au cours de cette période. (fig.28)

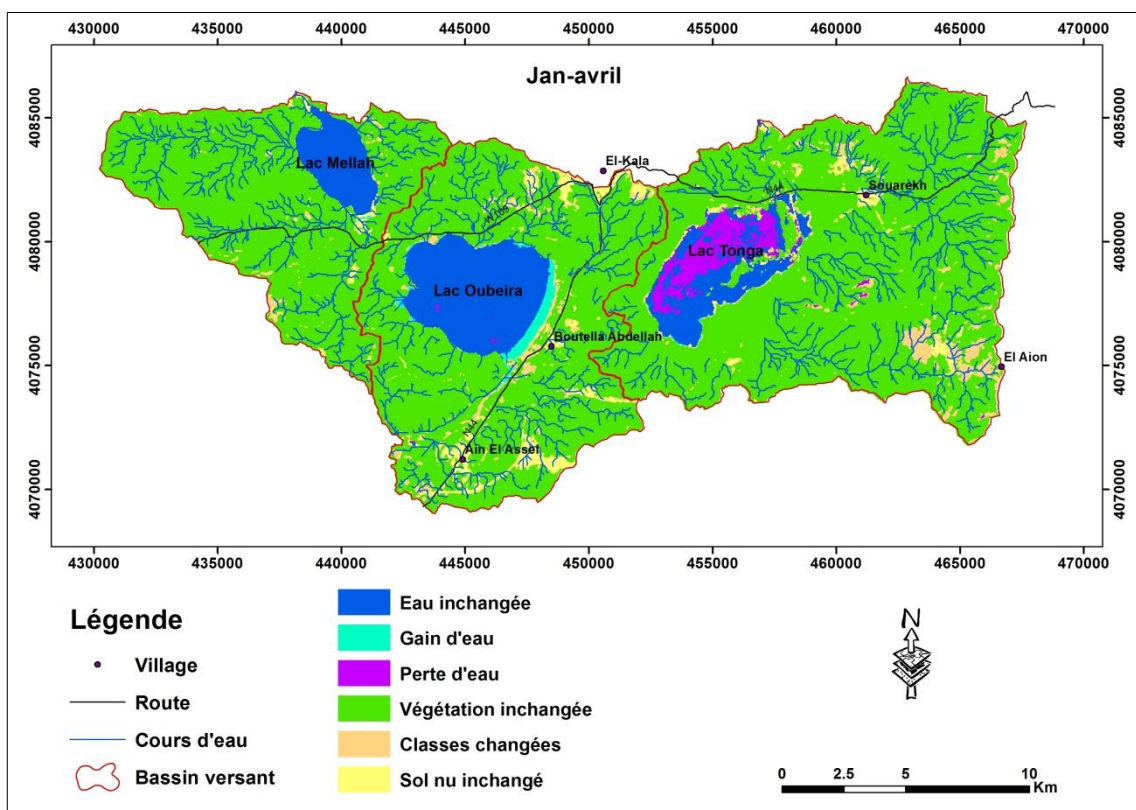


Figure 28. Changement entre janvier et avril

b- Changement « Avril-juillet » :

En Avril et Juillet au niveau du lac Tonga le surface de plan d'eau inchangé devenu 7.02ha, donc dans cette période le lac Tonga est devenu presque à sec et même pour la végétation. Oubeira 1943.46ha d'eau et Mellah 830.34ha presque la même forme, sauf pour une certaine perte d'eau sur les bords est plus grande dans l'Oubeira que dans Mellah. La végétation baisse plus importante au cours de l'été et la propagation de Sol nu trop à prendre une plus grande valeur au cours de l'année. (fig.29)

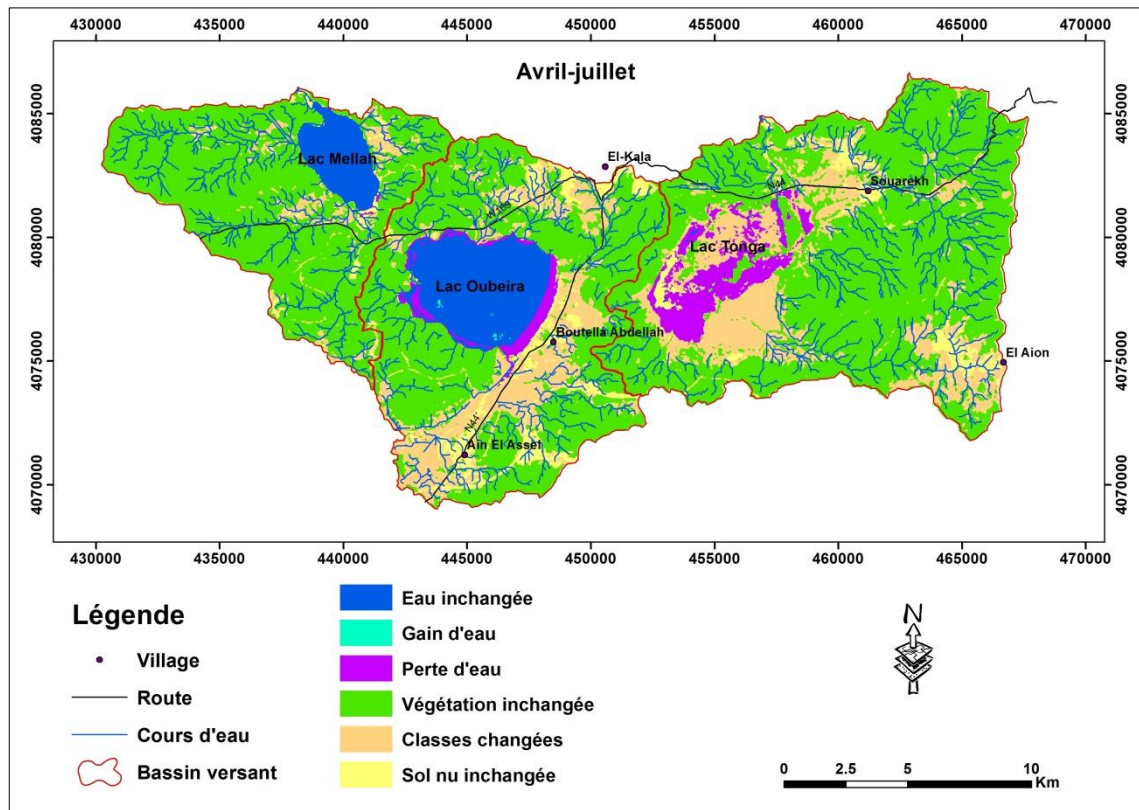


Figure 29. Changement entre avril et juillet

c- Changement « Juillet-Octobre » :

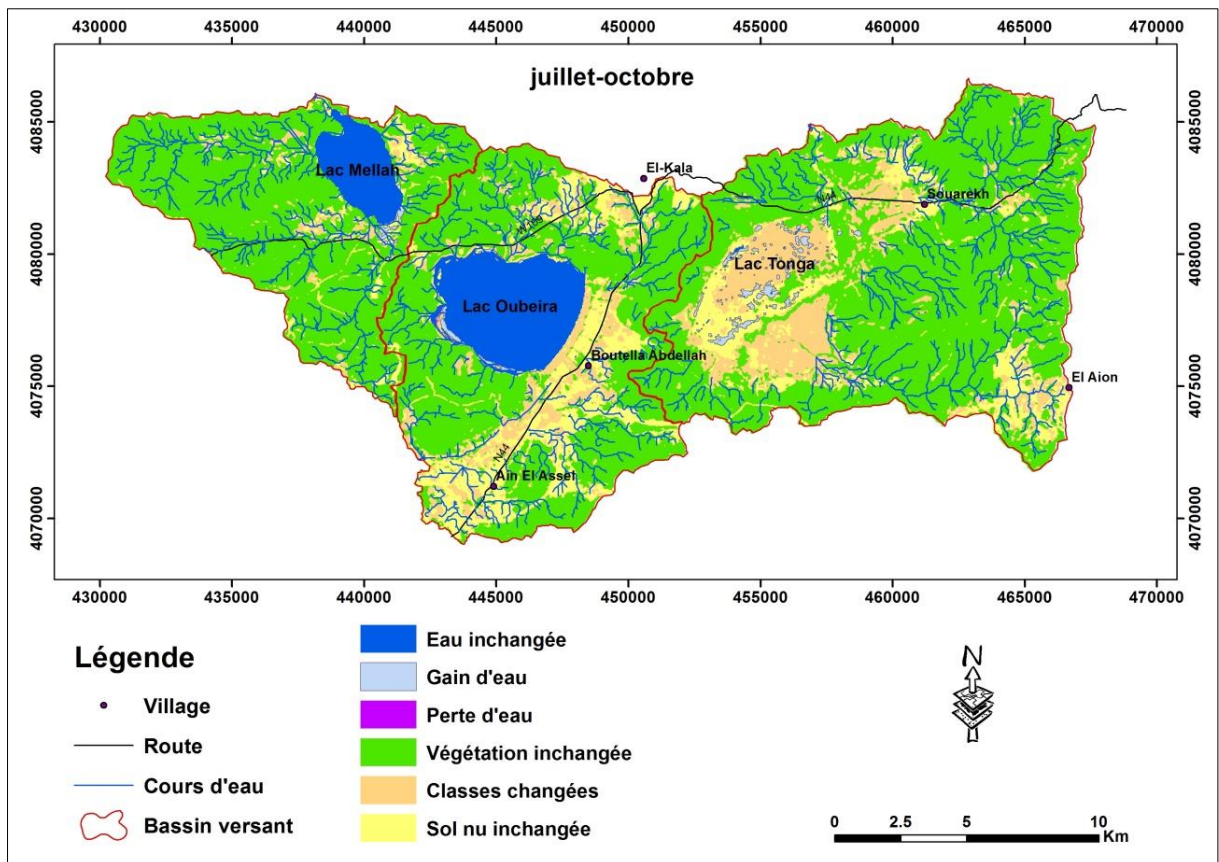


Figure 30. Changement entre juillet et Octobre

Au cours de Juillet Octobre est que le lac Tonga est séché complètement avant la période des précipitations de septembre et Octobre qui à apparaître au milieu du lac (gain d'eau), et la surface est augmenté jusqu'à 7.74ha pendant cette période, Mellah à 831.78ha et Oubeira à 1957.32ha il a gardé presque la même forme.

Les végétations poussent légèrement au cours de l'automne, mais pas dans une large mesure par rapport à l'hiver. (fig.30)

d- Changement « Janvier-Avril- Juillet » :

Au cours de la période Janvier-Juillet une surface de 5.85ha dans le lac Tonga reste couverte par l'eau, Oubeira 1950.66ha et Mellah 837.45ha. (fig.31)

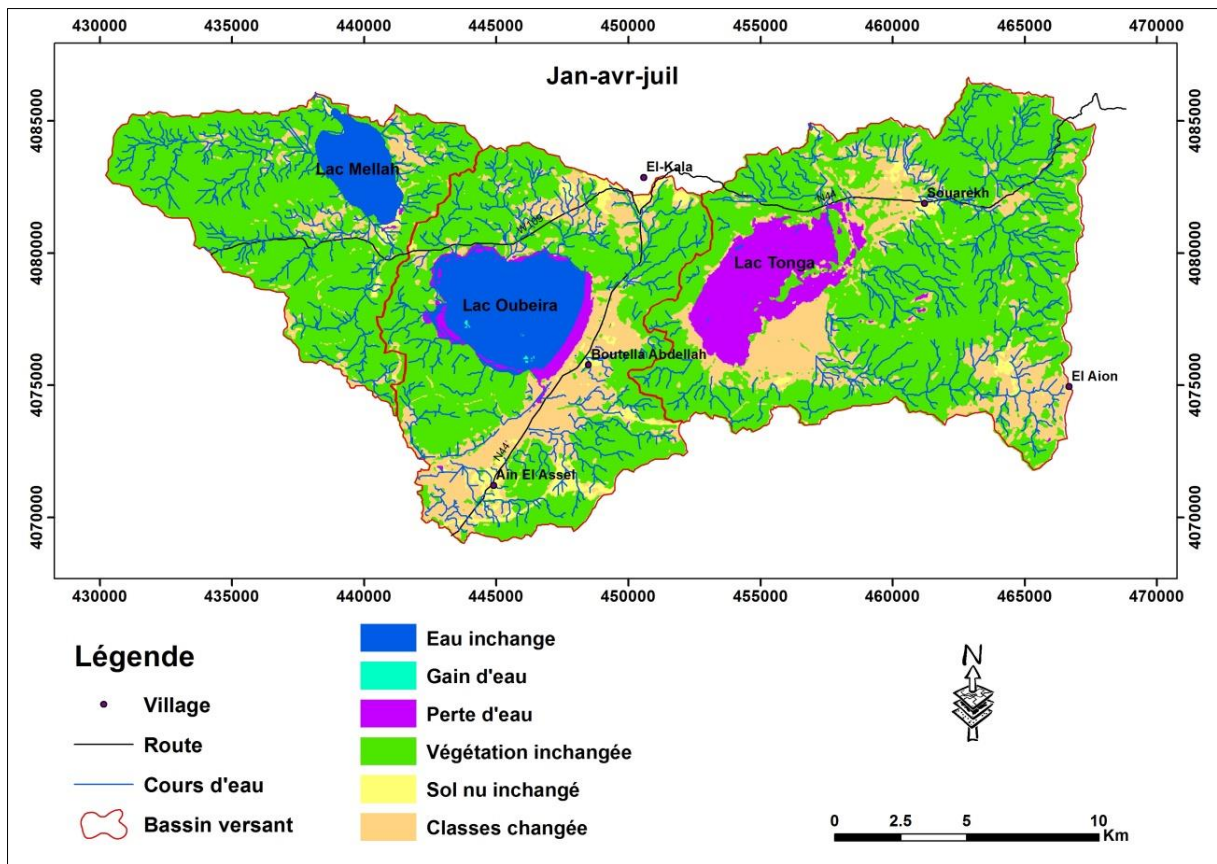


Figure 31. Changement entre « janvier-avril » et « avril-juillet »

e- Changement « Avril- Juillet-Octobre » :

Dans la période « Avril-Juillet-Octobre » à Tonga 5.94ha d'eau reste inchangée. La carte montre une grande surface de perte d'eau. Par contre au niveau du lac Oubeira la classe inchangée est la plus dominante de 1952.91ha, et dans lac Mellah la surface de plan d'eau inchangée reste 835.65ha. Les surfaces de plan d'eau changées dans lac Mellah sont toujours les plus faibles vus son contact avec la mer équilibrant son niveau durant la saison estivale sèche. (fig.32)

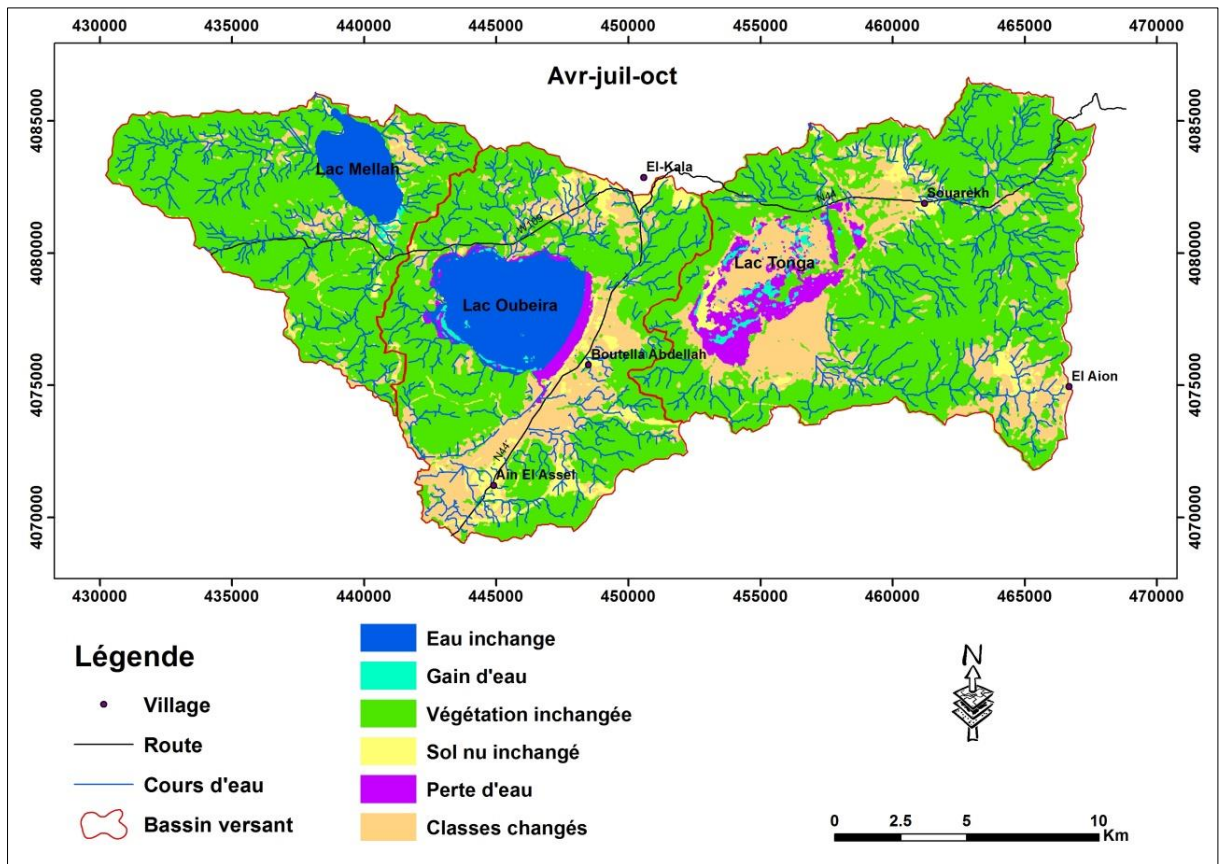


Figure 32. Changement entre avril-juillet et juillet-octobre

f- Carte finale des changements :

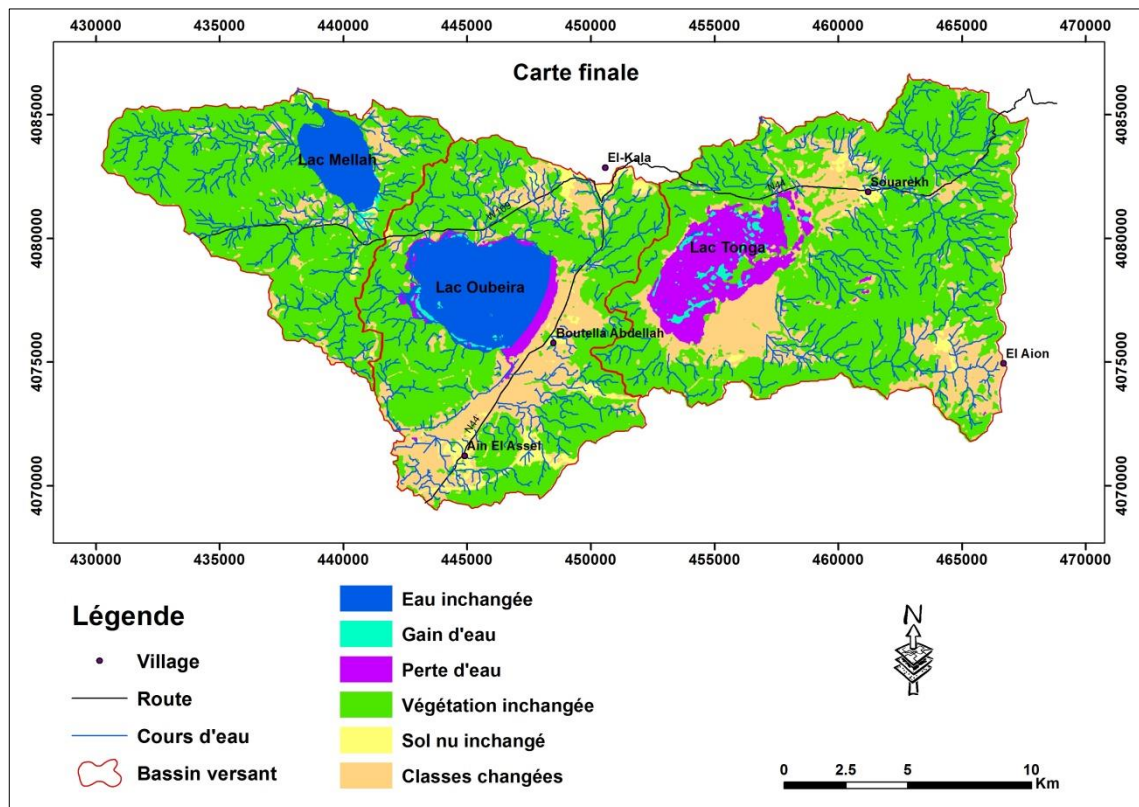


Figure 33. Carte finale

La carte finale a montré que les surfaces de changement d'eau au cours de Janvier à Octobre sont considérables dans le lac Tonga qui a devenu presque à sec en saison estivale avec seulement 5.22ha d'eau inchangée. Le reste est changé en végétation et sol nu, c'est le résultat de l'influence de la végétation aquatique dominante. Cette dernière couvre l'eau et lui donne une couleur verte en saison humide (classe végétation) ou en couleur jaune en saison sèche (classe sol nu). Pour les lacs Oubeira et Mellah les surfaces de plan d'eau inchangées restent toujours les plus important qui sont respectivement 1955.97ha et 838.44ha.

La végétation reste presque en taille réelle à l'exception de quelques changements entre eux et le Sol nu et entre l'eau, mais ils ne sont pas de grands espaces. (fig.33)

Conclusion :

Les changements qui se produisent dans l'espace et le temps à El Kala, l'eau change de façon significative au cours de l'année en fonction des changements climatiques qui se produisent naturellement pendant les saisons de l'année où la température est élevée et les précipitations sont faibles en été, par contre en hiver, les précipitations augmentent et les températures chutent.

Donc, les facteurs climatiques sont les plus importants qui influent sur le de façon spectaculaire sur la dynamique des surfaces de plan d'eau ainsi que sur d'autres paramètres environnementaux comme la végétation et les cours d'eau. La morphologie du terrain influe aussi sur la fluctuation des surfaces de plan d'eau par l'espace et le système de drainage du bassin versant.

Les résultats apparaissent sous la forme d'une table (matrices des changements) et les valeurs des surfaces de plan d'eau qui se transforme en végétation ou en sol nu. Ces changements diffèrent d'un lac à l'autre selon les conditions du système hydrologique et écologique qui existe.

- Lac Mellah présente une surface de plan d'eau totale de 867 ha mais la surface inchangée durant les 4 saisons est de 838 ha, donc une diminution de 4%. Ceci est dû à l'influence de la mer par son contact direct.
- Lac Oubeira présente une surface de plan d'eau totale de 2330 ha mais la surface inchangée durant les 4 saisons est de 1956 ha, donc une diminution de 16%. Ceci est dû à l'influence climatique.
- Lac Tonga présente une surface de plan d'eau totale de 1790 ha mais la surface inchangée durant les 4 saisons est de 5 ha, donc une diminution de 99%. Ceci est dû à l'influence de la dominance de végétation aquatique.

Conclusion général

Conclusion général

Au cours de l'année, les zones humides (lacs et maraichages) du Parc National d'El-Kala passent par des changements majeurs surtout au niveau de leurs surfaces qui varient selon les influences climatiques saisonnières. À travers ces changements au cours de l'année, nous notons que les facteurs qui jouent le rôle important sont la température et les précipitations. Selon les données climatiques, on a constaté que la région d'El-Kala a un climat sub-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. Les résultats des bilans nous ont permis de remarquer une ETR élevée et un déficit considérable caractérisé par des mois secs. Les précipitations enregistrées pendant la saison humide peuvent engendrer des inondations remarquables se répétant d'une année à l'autre.

L'étude se base sur les trois lacs d'une importance écologique internationale (Mellah, Oubeira et Tonga). Ils drainent cette région par plusieurs cours d'eau à écoulement pérenne, et une multitude de petits cours d'eau à écoulement temporaire.

L'utilisation des images MNT nous a permis la délimitation, la quantification et l'extraction des sous-bassins versant des trois lacs ainsi que leurs réseaux hydrographiques. Ceci nous a permis le lien entre les paramètres climatiques et topographie du terrain et la reconstitution hydrographique. Mais l'évolution des surfaces de plan d'eau on a pu la quantifier par un suivi saisonnier durant l'année 2015

Les fluctuations des surfaces de plan d'eau des 3 lacs au cours des quatre saisons ne sont pas les mêmes :

- Un faible changement au niveau de la surface du lac Mellah vu la profondeur relativement important, qui est presque d'une surface constante de l'ordre de 840 ha au mois de Janvier et Avril à cause aux apports d'eau de surface qui sont presque constantes durant ces deux saisons. Puis une diminution à 820 ha au mois de Juillet à cause de très faibles alimentations continentales équilibrant sa surface avec celle de la mer. Puis une augmentation de la surface à 870 ha du à l'élévation de la surface du lac par les apports d'eau importantes durant la saison d'Automne.
- Un grand changement du lac Tonga qui présente une diminution de sa surface depuis le mois de Janvier jusqu'à l'assèchement presque total au mois de juillet (1790, 1120, 13

ha), puis une augmentation au mois d'Octobre (273 ha). Ces changements sont dus essentiellement à la faible épaisseur de la lame d'eau du lac et les conditions climatiques de la région.

- Le lac Oubeira, d'une surface plus importante que les deux autres, a montré un changement de surface suivant les conditions climatiques et de drainage d'une saison à l'autre mais la faible surface enregistrée en mois de Juillet à 1950 ha ce qui indique une alimentation par les eaux souterraines.

Références bibliographies

Références bibliographique

- 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.
- Bentouili Med Yassine (2007), Inventaire et Qualité des Eaux des Sources du Parc National d'El-Kala (N-Est, algérien), Ingénieur d'Etat, Université Badji Mokhtar-Annaba, Département de Géologie, p134.
- Bouazouni Omar (2004) Parc National d'El Kala Etude socio-économique du PNEK Projet Régional pour le Développement d'Aires marines et côtières Protégées dans la région de la Méditerranée (MedMPA), 4parties, p95.
- Fustec E, Lefeuvre J-C et Coll. (2000). « Fonctions et valeurs des zones humides », Dunod Paris, 426p.
- Girard M.C, et Girard C.M., 1999, Traitement des données de télédétection, DUNOD Ed. Paris, pp 59-73. ISBN : 2 10 004185.
- Gunie , (2002), Analyse des techniques d'élaboration de Modèles Numériques de Terrains et des méthodes d'extraction automatique du réseau hydrographique pour l'amélioration des études de bassins versants, 52p.
- Halimi A. (1980). « L'atlas Blidéen, climat et étages végétaux », Office des publications universitaires, Alger.
- Laouini Hamza, (2012), caractérisation géochimique des zones humides entre deux climats, méditerranéen et aride par image satel, Magister, Université Kasdi Merbah -Ouargla, p140.
- 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.
- 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.
- 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.
- Tong S. and Koller D., 2001, Support Vector Machine active learning with applications to text classification. Journal of Machine Learning Research, pp 45-66.

Vila J-M. (1980). « Carte structurale de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algero-Tunisiens », échelle: 1/50 000.

ملخص:

تمتاز منطقة الحظيرة الوطنية للقالمة بمناخ شبه رطب و تتكون من ثلاث بحيرات (ملاح، اوبيره وتونغا). وهذه البحيرات الثلاث ذات أهمية بيئية دولية فهي تغذي المنطقة عبر العديد من المجاري المائية وعدد كبير من الجداول الصغيرة التي تتدفق بشكل مؤقت في الفترات التي ينخفض فيها مستوى المياه.

الهدف من دراستنا هو معرفة التغيرات الزمانية المكانية التي تحدث في المياه السطحية للبحيرات الثلاث التي تشكل الحديقة خلال أربعة مواسم ومعرفة التغيرات التي تحصل بها استنادا على معالجة الصور ام أن تي وصور الأقمار الصناعية لاندرسات8، ولكن علاج هذه الصور يتطلب المعرفة الجيدة للأرض والتمكن من البرامج التي تقوم بحساب المساحات واستخراج المعلومات المتعلقة بالدراسة .

خلال الفصول الأربعة للسنة تتغير مساحة المياه في البحيرات الثلاث بشكل مختلف حسب كل واحدة ، وهذا يرجع إلى المناخ والشكل الهيدرولوجي و الخصائص الهيدرولوجية للبحيرات.

كلمات مفتاحية : الحوض الهيدرولوجي, التصنيف, التدفق , منطقة رطبة , الفصول

Résumé:

La zone d'étude d'un climat subhumide renferme trois lacs d'une importance écologique internationale (Mellah, Oubeira et Tonga). Ils drainent cette région par plusieurs cours d'eau à écoulement pérenne, et une multitude de petits cours d'eau à écoulement temporaire.

L'objectif de notre étude est de connaître les changements spatiotemporels d'El-Kala qui se produisent au niveau des surfaces de plan d'eau des 3 lacs qui composent le parc national durant les 4 saisons et la connaissance de leurs conditions de changements.

Notre étude est basée sur le traitement des images MNT et des images satellitaires de Landsat 8, mais les traitements de ces images nécessite une bonne connaissance de terrain ; ainsi que la maîtrise des programmes qui calculent les paramètres et extraient les formes géométriques de l'occupation du sol.

Les fluctuations des surfaces de plan d'eau des 3 lacs au cours des quatre saisons ne sont pas les mêmes, cela est dû aux conditions climatiques, hydrologique et hydrogéologique des lacs.

Mots clés : bassin versant, classification, fluctuation, zone humide, saisons

Resume:

The El-kala is a sub-humid climate the study is based on the three lakes of international ecological importance (Mellah, Oubeira and Tonga). They drain the area by several rivers with perennial flow, and a multitude of small streams flow temporarily.

The aim of our study is to know the spatiotemporal changes of El-Kala occurring in surface waters of three lakes that make up the national park during the 4 seasons and the knowledge of their condition changes.

Our study is based on the treatment of method of digital cart and satellite images from Landsat 8, but the treatment of these images requires good field knowledge; and the mastery of programs that calculate parameters and extract the geometric forms of land use.

Fluctuations in surface waters of three lakes in the four seasons are not the same; this is due to climate, hydrological and hydrogeological lakes.

Word key: watershed, classification, fluctuation, wetland, seasons