

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



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Présenté par : **Ibrahim Ould Elhacen**

Thème

**Evolution spatiotemporelle du lac Fetzara
(Nord-Est algérien)**

Soutenu publiquement

Le : 04-06-2016

Devant le jury :

Mr. MELOUAH Oualid	MAA	Président	UKM Ouargla
Mr. MEDJANI Fethi	MCB	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mr. DJIDEL Mohamed	Pr.	Co-Encadreur	UKM Ouargla
Mr. HOUARI Idir Menad	MAA	Examineur	UKM OuarglaY

Année Universitaire : 2015/2016

Dédicace

Affable, honorable, aimable : Vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

Remerciement

A nos maîtres et encadreurs du mémoire de Master

Mr. le professeur Mohamed DJIDEL

Mr. le docteur Fethi MEDJANI

*Qui ont bien voulu nous confier ce travail riche d'intérêt et
nous guider à chaque étape de sa réalisation.*

*Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré
vos obligations professionnelles.*

*Vos encouragements inlassables, votre amabilité, votre
gentillesse méritent toute admiration.*

*Nous saisissons cette occasion pour vous exprimer notre
profonde gratitude tout en vous témoignant notre respect.*

*Mes remerciements vont particulièrement aux membres de
jury, d'avoir bien voulu assister et examiner le travail*

*Je tiens à remercier tous les enseignants du département des
sciences de la terre et de l'univers. Université d'Ouargla.*

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
Chapitre I- Contexte Général	2
I.1. Situation Géographique.....	2
I.2. Géomorphologie.....	2
2.1. <i>Lac Fetzara</i>	2
2.3. <i>La plaine de Annaba</i>	4
I.3. Aperçu géologique :	4
I.4. Hydrologie.....	5
I.5. Climatologie.....	8
I.5.1- Stations de mesure	8
I.5.2- Facteurs climatiques.....	9
a. <i>Précipitations</i>	9
b. <i>La température</i>	11
c. <i>Le vent</i>	12
I.5.3- La courbe pluviothermique	12
I.5.4- Bilan hydrique.....	13
I : Infiltration moyenne annuelle (mm).	13
I.6. Hydrogéologie.....	14
I.6.1- La nappe superficielle :	14
I.6.2- Les nappes profondes.....	15
a. <i>La nappe des cipolins (formation métamorphique)</i>	15
b. <i>La nappe des graviers</i>	15
I.6.3- La perméabilité	15
Chapitre II : Matériels et méthodes	17
II.1. Matériels utilisés	17
II.1.1- Les données satellitaires	17
a. <i>Les images (MNT) :</i>	17

<i>b. Les images satellitaires (LANDSAT OLI)</i>	17
<i>c. Les images Google Earth</i>	17
II.1.2- Les logiciels utilisés :	18
<i>a. Global Mapper</i> :	18
<i>b. ArcGis 10.3</i> :.....	18
<i>c. ENVI 5.1</i> :.....	18
<i>d. Google Earth Pro</i> :	19
II.2. Méthodologie générale :	19
II.2.1- La modélisation hydrologique :	19
<i>a. Processus d'extraction du bassin versant</i> :.....	19
<i>b. Processus d'extraction du réseau hydrographique</i> :.....	19
II.2.2- Occupation du sol :.....	21
<i>a. Les prétraitements des images</i> :	21
<i>b. Classifications des images</i>	23
II.2.3- La détection des changements :	25
<i>a. Les matrices de changements</i> :	26
<i>b. Les cartes de changements</i> :	26
<i>c. Cartographie par ArcGis 10.3</i> :.....	26
Chapitre III : Résultat et discussion	27
III.1. Hydrologie :	27
III.1.1- Bassin versant :.....	27
III.1.2- Carte de classification de différentes dates :	28
<i>a. Classification de Janvier 2014</i>	28
<i>b. Classification de Mars 2014</i>	29
<i>c. Classification de Juin 2014</i>	30
<i>d. Classification de Septembre 2014</i>	30
<i>e. Classification de Janvier 2015</i>	31
III.3. Evolution temporelle des états de surface (Change détection).....	32
III.3.1- Les matrices de changement :	32
<i>a. Les changements entre (Janvier2014 et Mars)</i> :.....	33
<i>b. Les changements entre (Mars et Juin)</i> :.....	33
<i>c. Les changements entre (Juin et Septembre)</i> :.....	34
<i>d. Les changements entre (Septembre et Janvier 2014)</i> :	35

2.1.5- <i>Les changements entre trois dates</i> :	35
2.1.6- <i>Les changements entre quatre dates</i>	36
III.4. Cartographie des changements	37
III.4.1- Evolution entre janvier et mars 2014 :	37
III.4.2- Evolution entre Mars& Juin :	37
III.4.3- Evolution entre Juin& Septembre :	38
III.4.4- Evolution entre, Septembre2014 et janvier 2015	39
Figure 26: Evolution entre, Septembre2014 et janvier 2015.....	40
III.4.5- Evolution annuelle de surface d'eau	40
III.5. Conclusion	41
Conclusion générale	42
Références bibliographiques	43

Liste des figures :

Figure 1. Carte Géomorphologique de la région du lac Fetzara (Zahi, 2014).	3
Figure 2: Carte géologique du bassin versant du lac Fetzara (Zahi, 2014).	5
Figure 3 : Réseau hydrographique du bassin versant du lac Fetzara.	7
Figure 4 : Précipitations moyennes mensuelles des salines	9
Figure 5: Précipitations moyennes mensuelles de Pont Bouchet.	10
Figure 6: Précipitations moyennes mensuelles de Ain Berda.	10
Figure 7 Figure 7 Précipitations moyennes mensuelles de Berrahal.	11
Figure 8: Températures moyennes mensuelles (°C) à la station Les Salines (1975-2006).	12
Figure 9: Courbe pluviothermique de stations des Salines,	13
Figure 10. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite (Station les Salines 1982-2011).	14
Figure 11: Carte de répartition des nappes superficielles.	15
Figure 12: Carte de la perméabilité verticale des sols du lac Fetzara (Zahi, 2008).	16
Figure 13. Réseau hydrographique du lac Fetzara	20
Figure 14. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrographique.	21
Figure 15. Organigramme du processus général de traitements des images Landsat8	22
Figure 16. Figure 16 : Classification par arbre de décision	25
Figure 17: Réseau hydrographique du Lac Fetzara.....	27
Figure 18: carte de classification de Janvier 2014	28
Figure 19: carte de classification de Mars 2014.....	29
Figure 20: carte de classification de juin 2014.....	30
Figure 21: carte de classification de septembre 2014	31
Figure 22: carte de classification de Janvier 2015	32
Figure 23: Evolution des états de surfaces entre Janvier et Mars 2014	37
Figure 24: Evolution des états de surfaces entre Mars 2014 et juin 2014.....	38
Figure 25: Evolution des états de surfaces entre juin 2014 et septembre 2014	39
Figure 26: Evolution entre, Septembre 2014 et janvier 2015.....	40
Figure 27: carte d'évolution durant l'année	41

Liste des tableaux

Tableau 1: Coordonnées géographiques des stations météorologiques (ANRH).	8
Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles (mm) des stations Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda (1975-2010) et Berrahal (1981-2006).....	9
Tableau 3 .Températures moyennes mensuelles (°C) à la station Les Salines (1975-2006). ..	11
Tableau 4.Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station Les Salines (1975 – 2006).	12
Tableau 5.Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwaite de la station Les Salines (1982/2011)	13
Tableau 6.. Les seuilles des néo-canaux utilisés pour la classification.....	24
Tableau 7.Les périmètres et les surfaces de bassin versant du lac Fetzara.	27
Tableau 8.Matrice des changements entre Janvier2014 et Mars.....	33
Tableau 9: Matrice des changements entre Mars et Juin.	33
Tableau 10.Matrice des changements entre Juin et Septembre.....	34
Tableau 11.Matrice des changements entre Juin et Septembre.....	35
Tableau 12.Surface d'évolution d'eau entre trois dates.....	35
Tableau 13.La surface d'évolution d'eau entre quatre dates.....	36
Tableau 14.la surface d'évolution d'eau durant l'année 2014	36

Introduction

Introduction

L'Algérie abrite une gamme de zones humides très diversifiées : lacs, lagunes, marais, chotts, sebkhas. 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.

Par définition, Le terme « zones humides » est apparu en France à la fin des années 1960, introduit par les scientifiques et protecteurs de la nature ; cette expression est une traduction du mot « wetland » utilisé aux USA depuis le 17ème siècle. Cette expression nomme des milieux variés regroupés par la présence d'eau (douce, salée ou saumâtre) et la faible profondeur de celle-ci, il s'agit de marais, marécages, estuaires, lagunes, étangs, tourbières...

De nombreux scientifiques ont proposé des définitions, nous retiendrons les plus pertinentes exposées dans des ouvrages reconnus

Les zones humides jouent un rôle important à différents niveaux, elles participent à la régulation des microclimats, elles sont déterminantes pour la gestion de l'eau, elles régulent les débits et les crues des fleuves, entre le cours d'eau et les zones adjacentes (recharge / décharge des nappes) (Brenda-Xiomara, 2008).

Le lac Fetzara appartient aux zones humides de l'Algérie orientale. Il est l'un des plus importants lacs de l'extrême Nord-Est Algérien, classé officiellement, en 2002, comme une zone « Ramsar », autrement dit une zone humide.

Ces zones sont liées directement à l'eau, chaque changement soit de qualité ou de quantité influe sur le rôle écologique de ces endroits comme étant des écosystèmes de biodiversité écologique.

-Le suivi de l'évolution de ces zones humides nécessite une bonne connaissance de terrain, et une cartographie qui met en valeur les potentialités de cet environnement et ses contraintes. Ainsi l'utilisation de la télédétection apparaît comme solution dans de telles situations afin d'identifier ces zones humides ainsi que la possibilité de suivre leur évolution dans le temps, et de connaître son origine et d'enrichir un système d'information géographique.

Dans ce cadre vient ce travail pour suivre l'évolution de la surface d'eau du lac Fetzara dans cinq dates couvrant l'année 2014. Ce résultat peut être utilisé au futur dans les plans d'aménagement de terrain et la gestion des quantités d'eau dans ce lac.

Contexte général

Chapitre I- Contexte Général

I.1. Situation Géographique

L'extrême Nord-Est Algérien est caractérisé par la présence de plusieurs lacs, dispersés sur les plaines littorales. Le lac Fetzara est l'un des plus importants qui représente un écosystème humide et remarquable. Le lac Fetzara est l'un des plus importants de l'extrême Nord-Est algérien. En 2002, Il a été officiellement classé sur la liste des zones humides d'importance internationale par la convention « Ramsar ». Le lac est situé à 18 km au Sud-Ouest de la ville d'Annaba, s'allonge sur 17 km d'Est en Ouest et sur 13 km du Nord au Sud, avec une superficie d'environ 18600 ha. C'est une cuvette localisée entre le massif de l'Edough et la plaine de Annaba (fig.1), sa mise en place est due aux différentes formes de reliefs (montagnes, oueds, plaine, etc...) caractérisant la région. Dans cette partie nous allons essayer de mettre en évidence les liens qui semblent exister entre ces différentes formes.

I.2. Géomorphologie

En parcourant la région du lac Fetzara, nous distinguons deux formes morphologiques distinctes (fig.1), il s'agit des reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des deux djebels Edough et Belleleita au Nord et aux chaînes telliennes au Sud de la plaine de Annaba. Ces structures sont dues essentiellement à la tectonique ayant affectée la région au Cénozoïque et au Quaternaire. Ces unités appartiennent à deux sous bassins versants principaux qui sont celui du lac Fetzara à l'Ouest avec une superficie de 515km² et celui D'oued Meboudja à l'Est avec 252 km² de superficie.

2.1. Lac Fetzara

La cuvette du lac Fetzara présente des bordures Nord et Sud nettement dissymétriques, elle est due à une grande tectonique active pendant le Quaternaire; Au Sud, un véritable piémont avec quatre niveaux de glacis, s'est construit en aval du Tell Nord Guelmien. Au Nord, le massif de l'Edough pénètre brutalement dans la cuvette du lac, et peu de formes quaternaires assurent le passage de la montagne au fond de la dépression.

Sur le piémont de la bordure Nord du lac, la tectonique semble avoir été plus active que sur la bordure Sud.

Le fond de la cuvette du lac Est occupé, à l'Ouest par le lac proprement dit, et à l'est par la plaine d'El Hadjar qui se prolonge par celle de Annaba. Ces deux ensembles morphologiques

sont séparés par un cordon dunaire celui-ci sert de ligne de partage des eaux, entre le lac Fetzara et l'Oued Meboudja et il ferme aussi la dépression (Marre, 1992).

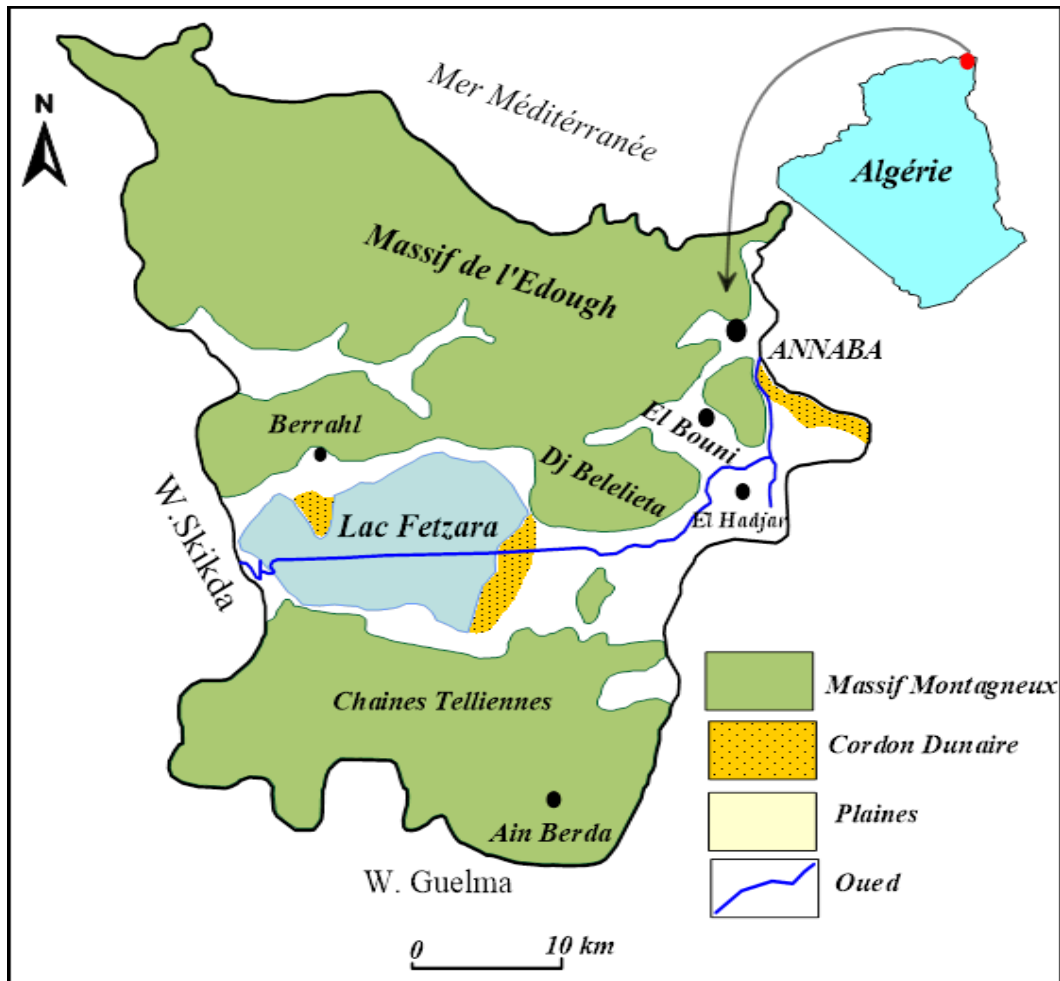


Figure 1. Carte Géomorphologique de la région du lac Fetzara (Zahi, 2014).

2.2. Les montagnes:

Le lac Fetzara est limité dans sa partie Nord par le massif de l'Edough, qui est nettement séparé des reliefs situés au Nord-Ouest par la vallée de Oued El Aneb. Sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est. La ligne de crête relativement rectiligne longue de 26km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600 m pour culminer à 1008 m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867m vers Seraidi, elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au Cap de Garde au Nord de la ville de Annaba.

A l'Est du lac Fetzara, le massif de l'Edough est isolé du Djebel Beleleita par une vallée à fond plat, il s'agit là d'un fossé d'effondrement de direction Ouest-Est ouvrant ainsi une dépression vers la mer méditerranée.

Entre Beleleita et Bouhamra se creuse la vallée transversale de la basse Meboudja qui prend naissance au pied de la rive dunaire limitée à l'Est par la cuvette du lac Fetzara, et qui entre en confluence avec l'oued Seybouse au Nord d'El Hadjar.

A l'Ouest, Djebel Edough est relié par deux ensembles de collines; le premier situé entre les deux communes d'Oued El Aneb et Berrahal (226 m), le second au Nord de Boumaiza (130m). Enfin au Sud, l'encadrement montagneux est constitué par les chaînes telliennes qui présentent ici une diversité morphologique encore plus grande que dans le reste de l'Algérie.

2.3. La plaine de Annaba

Le drainage du lac Fetzara se fait par l'intermédiaire d'un canal, dont les eaux d'évacuation se déversent dans l'oued Meboudja, vont ensuite dans l'oued Seybouse. Ce dernier draine la plaine d'Annaba et débouche dans la mer Méditerranée.

La plaine d'Annaba est située immédiatement en arrière de la ville de Annaba. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Nord-Ouest par l'anticlinal du massif de l'Edough et au Sud par l'anticlinal de la chaîne numidienne, avec une topographie relativement régulière, Dans l'espace ainsi défini trois secteurs présentent chacun des formes différentes; la basse plaine dans laquelle s'encaisse l'oued Seybouse, les bordures où on peut observer des glacis et le littoral où quelques formations quaternaires sont visibles.

Cette basse plaine a une forme inclinée et légèrement bombée avec la Seybouse comme axe de drainage. Celle-ci présente un tracé plus rectiligne (Belhamra, 2001 ; Habes, 2006).

A l'Est et à l'Ouest, la basse terrasse sableuse de la Seybouse disparaît pour laisser la place à des dépressions de 2m d'altitude et aux formations argileuses noires et hydromorphes (marais de Boukhmira près de l'aéroport de Annaba).

La Seybouse se jette dans la mer Méditerranée à Sidi Salem par l'intermédiaire d'un chenal artificiel creusé pendant les années 1960 (Zahi, 2008).

I.3. Aperçu géologique :

Le lac Fetzara a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Joleaud, 1936 ; Hilly, 1962 et Vila, 1980). Ces études montrent que la région de Annaba est située au fond d'un golfe dans lequel vient se jeter le second fleuve de l'Algérie par ordre d'importance, la Seybouse, elle fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale, cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière algéro-tunisienne.

En se basant sur les diverses cartes géologiques, on constate que le lac Fetzara est une vaste dépression bordée au Nord par le massif de l'Edough , au Sud par les monts de Ain Berda, vers l'Ouest ,en allant vers l'Est on trouve la plaine d'Annaba qui se compose en réalité de deux plaines inégales, la petite plaine d'El Hadjar et la grande de Annaba, séparées l'une de l'autre par les buttes de Belelieta et Bouhamra.

Ainsi, la région de Annaba comporte à la fois les affleurements de terrains métamorphiques, de roches éruptives (Djebels Edough, Belelieta et Bouhamra), des terrains sédimentaires occupent le reste de la plaine (figure 2).

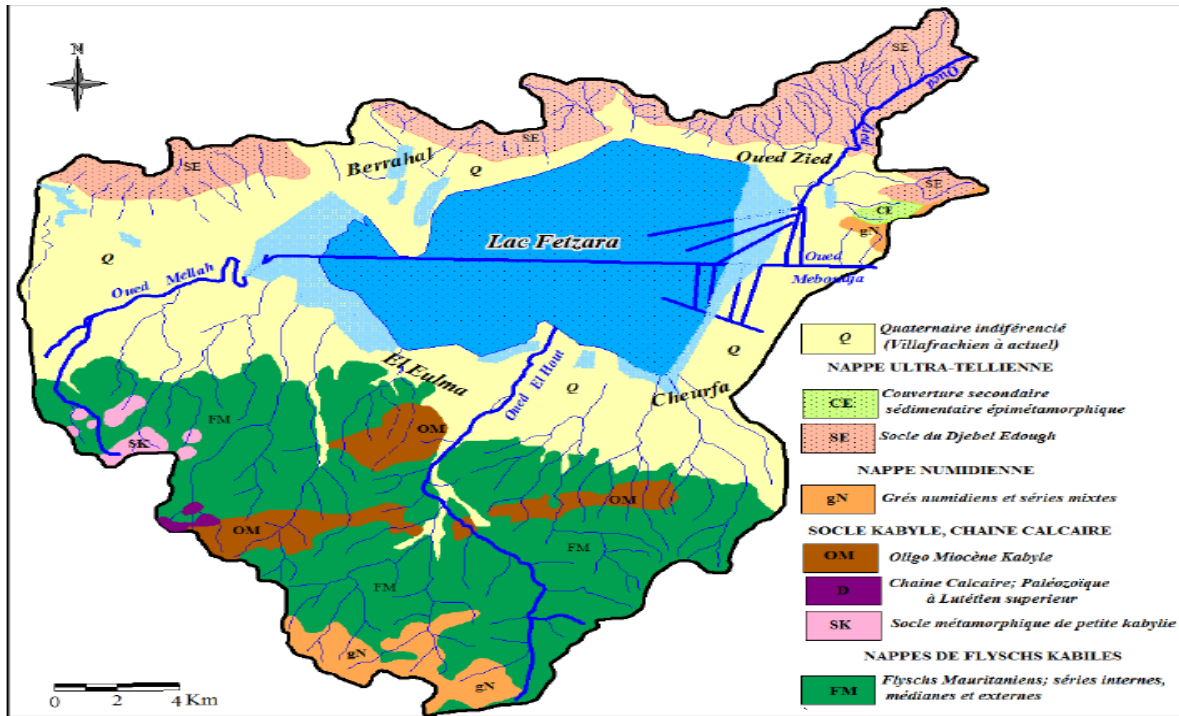


Figure.2: Carte géologique du bassin versant du lac Fetzara (Zahi, 2014).

I.4. Hydrologie

Le réseau hydrographique est l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. La définition d'un cours d'eau est difficile à donner avec précision, en particulier pour les cours d'eau temporaires.

Les eaux du lac Fetzara proviennent des montagnes environnantes, en dehors des nombreuses châabates (ruisseaux) en provenance des massifs environnants. Le lac est alimenté par les eaux des principaux oueds ; Zied, El Hout et Mellah.

- **Oued El Hout** au Sud, c'est le plus important cours d'eau alimentant le lac, il prend sa source à djebel Menchoura qui culmine à 795 m d'altitude (Tell Nord Guelmien), il s'écoule du Sud au Nord sur une longueur de 10 km.

- **Oued Zied** au Nord, qui a creusé sa vallée entre djebel Edough et djebel Bougantas, prenant naissance à environ 900 m d'altitude. Il s'écoule du Nord vers le Sud-Ouest sur une longueur de 10.5 km et débouche dans le lac Fetzara.

- **Oued Mellah** à l'Ouest, qui naît sur l'élévation de Koudiat Guendoul (100 - 130 m) et prend sa source aux alentours de l'oued El Kébir Ouest. Il s'écoule de l'Ouest vers le canal d'assèchement du lac, avec une longueur à peu près de 8 km.

Les cours d'eau alimentant le lac Fetzara sont caractérisés par un régime très irrégulier, torrentiel en hiver et sec en été, ce qui dénote une variation importante des apports au lac, ces derniers sont importants en saison pluvieuse et sont inexistantes en période de sécheresse à l'exception de l'oued El Hout continuant seule à alimenter le site (*DGF, 2003*). Les nombreux affluents constituent également un apport non négligeable de la cuvette du lac à un débit de 141 à 145 m³/s (*Marre, 1992*).

Le drainage des eaux est assuré par le canal principal d'assèchement qui traverse le centre du lac, dont le but est de garder un bon équilibre d'écoulement à l'intérieur du lac, maintenir le niveau du lac à une certaine profondeur et lutter contre les inondations dans la partie aval (*Zenati, 2010*). Ce canal se termine par un pont-vanne qui assure l'alimentation de l'oued Meboudja, ce dernier se déverse au niveau de l'oued Seybouse qui débouche dans la mer Méditerranée un peu plus à l'Est du site (*DGF, 2003*). Cependant, cette évacuation des eaux reste insuffisante, provoquant ainsi des phénomènes d'hydromorphie à cause des effets d'inondation et aussi une grande salinisation (*Habes, 2006*).

Le bassin versant du lac Fetzara est constitué de 30 sous-bassins versants petits et moyens avec une superficie totale de l'ordre de 515 Km² (*AJCI, 1985*).

Au Sud du bassin versant, se trouve une ligne de partage des eaux située entre 300 et 400 mètres d'altitude est relativement vaste et onduleux avec une légère pente en direction du lac. Au Nord, la ligne de partage des eaux se situe à une hauteur d'environ 100 mètres avec une pente raide, mis à part les versants de l'oued Zied constitués de montagnes dont la hauteur s'élève à plus de 100 mètres. La ligne de partage des eaux des parties Ouest et Est se situe entre 20 et 30 mètres, le débit d'écoulement est estimé à 210 mm par jour en moyenne (*DGF, 2003*).

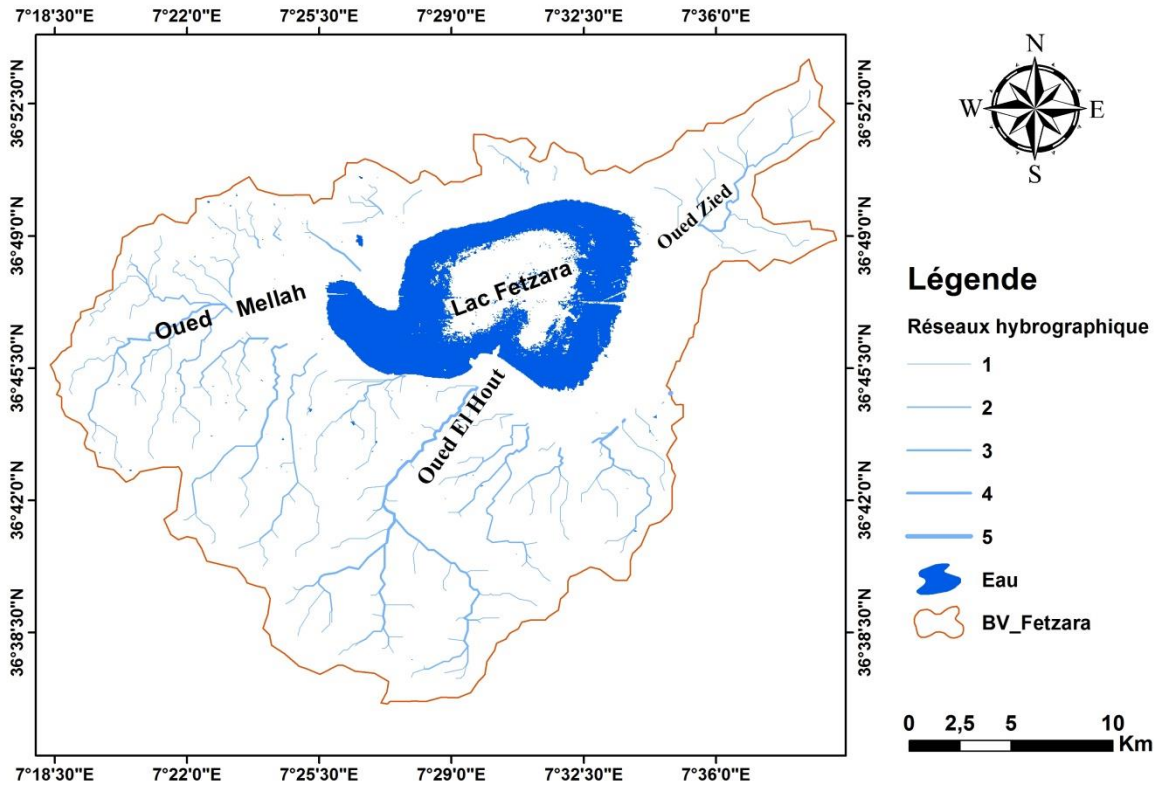


Figure3 : Réseau hydrographique du bassin versant du lac Fetzara.

- Régime hydrologique du lac Fetzara

La dépression du lac Fetzara a une superficie d'environ 18600 ha, elle est enserrée entre le massif de l'Edough au Nord, les monts de Ain Berda au Sud, et les deux cordons d'origine dunaire à l'Est (El Kantra) et à l'Ouest (Berrahal) (*Habes, 2006*). Les eaux du lac Fetzara sont collectées à partir des oueds El Hout, Mellah et Zied, ainsi que celles qui se déversent le long des pentes périphériques (*DGF, 2003*).

La superficie submergée en hiver est de l'ordre de 5800 hectares (*AJCI, 1985*). La partie la plus profonde du lac est formée par sédimentation à une altitude d'environ 10 mètres (*DGF, 2003*). Durant la saison pluvieuse, l'eau remonte jusqu'à la côte 12 m environ, soit à 2 m du niveau centre du lac. Cet aspect temporaire, la succession de périodes d'assèchement et de mise en eau rend particulièrement intéressant le lac en vue de la minéralisation renouvelée à chaque saison, ce qui crée un milieu extrêmement favorable pour l'alimentation des oiseaux hivernants et notamment les Anatidés de surface et les Foulques.

Le drainage du site a lieu tout au long de l'année par l'intermédiaire du canal principal, dont les eaux d'évacuation se déversent dans l'oued Meboudja, vont ensuite, dans l'oued Seybouse qui débouche dans la mer. Durant la saison estivale, les précipitations étant presque nulles, le lac devient complètement sec, ceci est dû principalement à la détérioration de l'écluse du

canal principal d'évacuation situé à El Kantra à l'Est du lac. En fin, les caractéristiques hydrologiques du lac sont la maîtrise des crues, la rétention des sédiments et des nutriments et la recharge de la nappe aquifère.

I.5. Climatologie

L'étude des caractéristiques hydroclimatiques d'un bassin versant (précipitations, température, évapotranspiration), joue un rôle primordial dans la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. Ces principaux facteurs permettent également d'approcher les termes du bilan hydrique, qui sont les précipitations, la température, l'évapotranspiration et la détermination du type de climat qui règne dans la région concernée. Le travail réalisé porte sur la région du lac Fetzara, cette dernière est caractérisée par l'absence des stations météorologiques. Pour cela, nous avons utilisé les données des quatre stations limitrophes (Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal), de ce fait les résultats obtenus ne constitueront qu'une approximation des caractéristiques climatiques.

I.5.1- Stations de mesure

Pour étudier les variations des caractéristiques climatiques de la région du lac Fetzara dans le temps et dans l'espace, nous avons pris en considération les données de précipitations et de températures de quatre stations ; les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal. Les coordonnées des stations météorologiques sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Coordonnées géographiques des stations météorologiques (ANRH).

stations	X (km)	Y (km)	Z(m)	Période d'observation	Distance par rapport au Lac
Les salines	955.8	403.8	3	1975-2010	15 Km au N.E
Pont Bouchet	950.25	402.80	6	1975-2010	12 Km au NE
Ain Berda	937.60	387.75	73	1975-2010	8 Km au S.E
Berrahal	923.35	405.56	33	1981-2006	2 Km au N.O

I.5.2- Facteurs climatiques

a. Précipitations

Le tableau suivant (tab.2) donne un aperçu sur la répartition des précipitations moyennes mensuelles au niveau des quatre stations (Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal) sur une période d'observation qui s'étale sur plus de 30 ans (35 ans pour les stations Les Salines, Pont Bouchet et Ain Berda et 31 ans pour celle de Berrahal).

Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles (mm) des stations Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda (1975-2010) et Berrahal (1981-2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Les salines	37.2	68.5	90.3	110.8	98.1	74.8	67.1	61.1	38.2	14.6	2.7	9.6
Pont Bouchet	38.8	55.5	87.2	100.5	89.5	66.2	60.3	57.9	34.8	12.2	2.4	9.2
Ain Berda	40.2	54.13	79.59	97.32	94.01	68.1	65.9	63.63	42.53	13.6	2.59	9.32
Berrahal	30.1	58	94.5	133.9	111.4	80.7	58.2	60.3	38.8	12	3.5	6.3

Le tableau ci-dessus montre que les mois les plus pluvieux sont novembre, décembre, janvier, février, mars et avril. Par contre, les mois de juin, juillet et août sont les moins pluvieux.

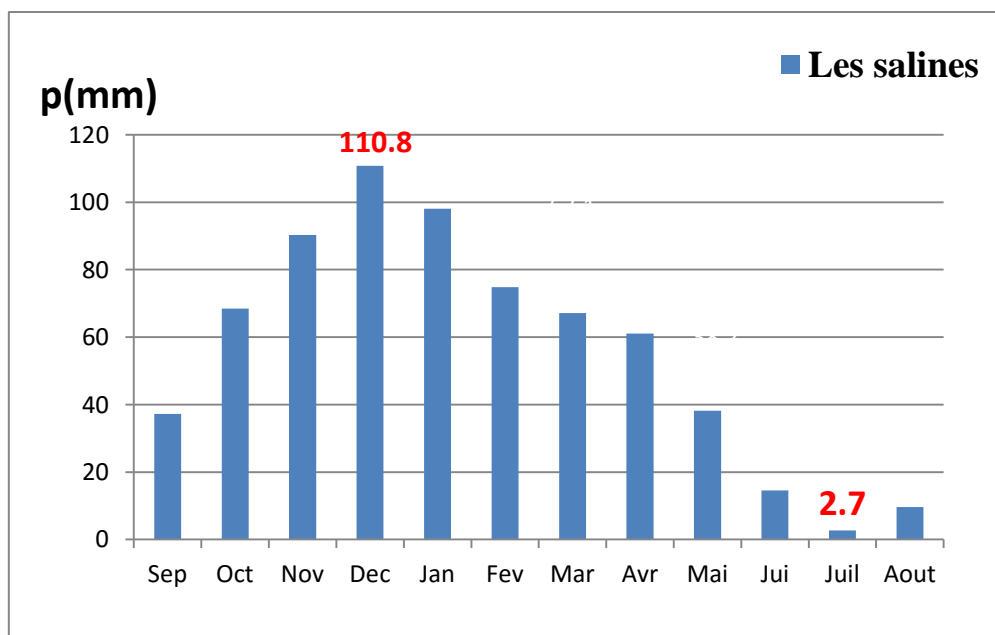


Figure4 : Précipitations moyennes mensuelles des salines

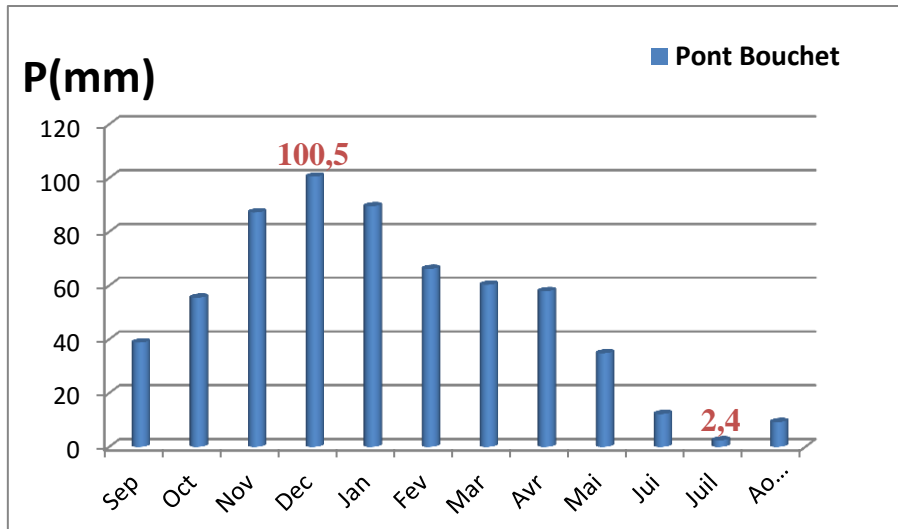


Figure 5: Précipitations moyennes mensuelles de Pont Bouchet.

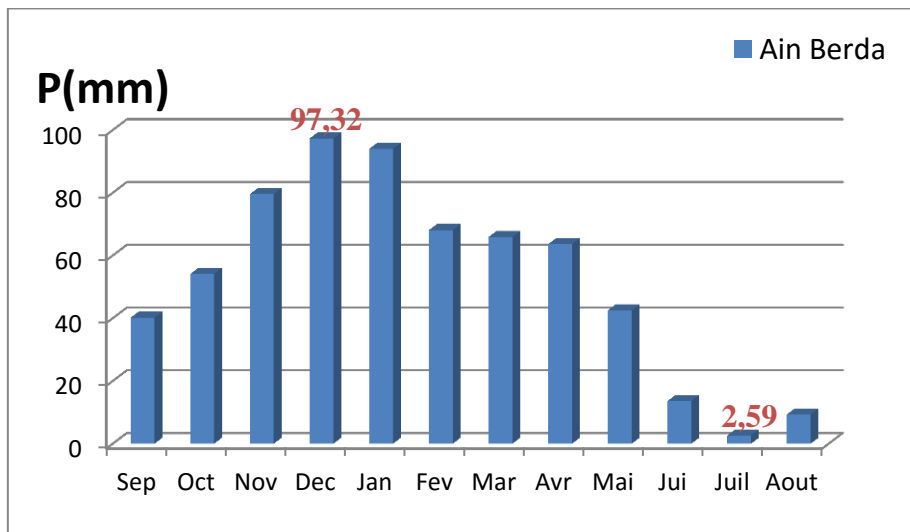


Figure 6: Précipitations moyennes mensuelles de Ain Berda.

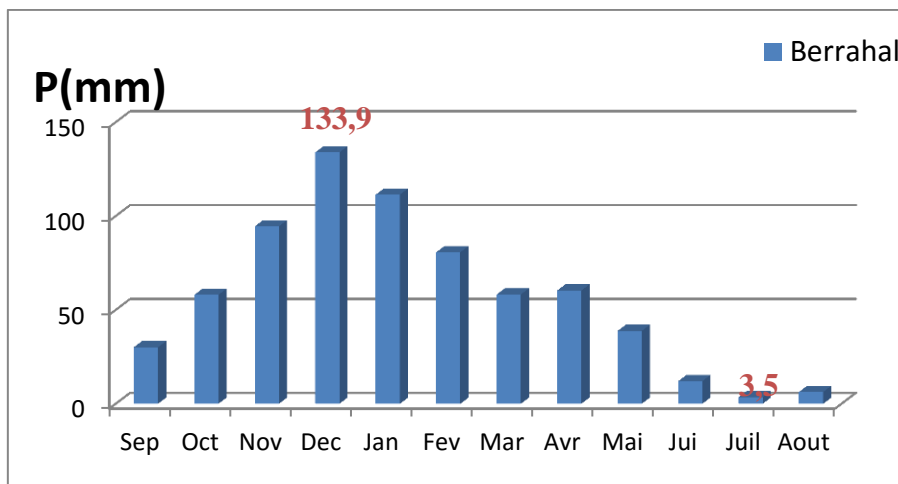


Figure 7 Précipitations moyennes mensuelles de Berrahal.

On remarque que les mois les plus pluvieux sont : novembre, décembre, janvier, février, mars et avril. Par contre les mois de juin, juillet et août sont les plus secs.

Les histogrammes des précipitations moyennes mensuelles montrent la variation des précipitations d'un mois à un autre (figures 4, 5,6et7).

Le maximum des précipitations est enregistré au mois de décembre pour les quatre stations : Les Salines (110.8 mm), Pont Bouchet (100.5 mm), Ain Berda (97.32 mm) et Berrahal (133.9 mm) par contre le minimum est enregistré au mois de juillet avec des valeurs de 3.7 mm, 2.4 mm, 2.59 mm, et 3.5 mm respectivement aux stations des Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal

b. La température

La température est un élément fondamental du climat, elle joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration. La station Les Salines est la seule à enregistrer les mesures de ce facteur. Les valeurs de la température sont consignées dans le tableau ci-dessous ;

Tableau 3 .Températures moyennes mensuelles (°C) à la station Les Salines (1975-2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Les Salines	22.9	19.65	15.42	13.01	11.57	11.80	13.21	15.14	18.15	21.81	25.16	25.55

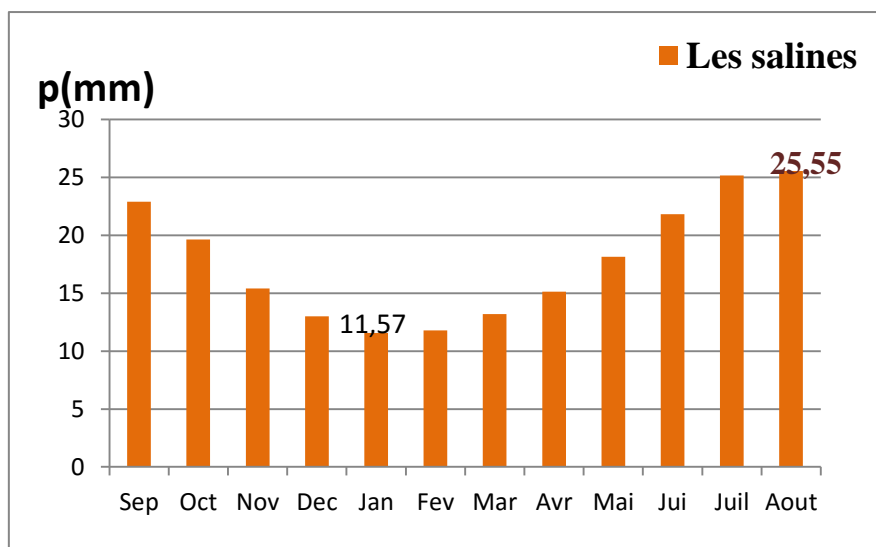


Figure 82: Températures moyennes mensuelles (°C) à la station Les Salines (1975-2006).

D'après l'histogramme des températures moyennes mensuelles (figure 4,5,6et7), le mois de Février est le mois le plus froid (11.8°C), alors que le mois d'Août est le plus chaud (25.55°C).

c. Le vent

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'après la station météorologique Les Salines, les vents dominants sont de direction Nord et Nord-Ouest avec des vitesses moyennes variant entre 2.9 et 3.45 m/s (tab.7). Ces vents en contact avec le massif de l'Edough et la barrière montagneuse du Sud, déversent des pluies au passage.

Tableau 4. Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station Les Salines (1975 – 2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Moy
vent (m/s)	3.04	2.90	3.05	3.45	3.31	3.30	3.30	3.24	3.02	3.03	3.18	3.13	3.16

I.5.3- La courbe pluviothermique

La courbe pluviothermique (combinaison de la température et les précipitations), permet la détermination du type du climat régnant dans la région. Un mois sec se définit, selon (Bagnouls et Gaussen, 1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T$).

Cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire des diagrammes ombrothermiques traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes. Elle est appliquée pour Les Salines.

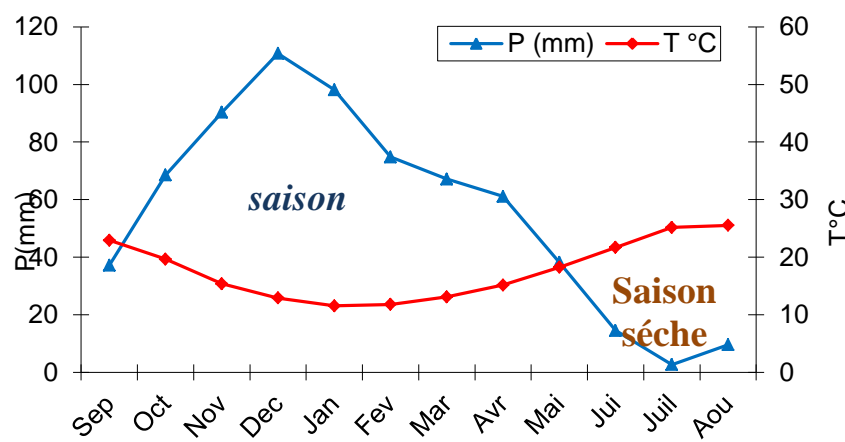


Figure 9: Courbe pluviothermique de stations des Salines,

I.5.4- Bilan hydrique

Le but du bilan hydrique est d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, écoulement et évapotranspiration).

Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante : $P = ETR + R + I$

Avec ;

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

Tableau 5. Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwaite de la station Les Salines (1982/2011)

	T°C	ETP	Pr	BH	RUF	ETR	Def	Exc
S	23	105.1	42.403	-62.7	0,0	42.4	62.7	0
O	20	76.4	62.212	-14.1	0,0	62.2	14.1	0
N	15.6	42.7	88.645	46	46	42.7	0	0
D	13.2	29.3	122.66	93.4	100	29.3	0	39.4
J	11	22.5	108.38	85.8	100	22.5	0	85.8
F	11.3	23.1	75.01	51.9	100	23.1	0	51.9
M	13.1	37.1	66.438	29.4	100	37.1	0	29.4
A	15.3	52.5	56.477	4	100	52.5	0	4
M	18.3	80.8	38.55	-42.2	57.8	80.8	0	0
J	22	114.6	13.267	-101.4	0	71.1	43.6	0
J	25.3	150.9	2.609	-148.3	0	2.6	148.3	0
A	25.8	146.6	9.69	-136.9	0	9.7	136.9	0
Annuel	17.8	881.4	686.3	-195.1		475.8	405.6	210.5

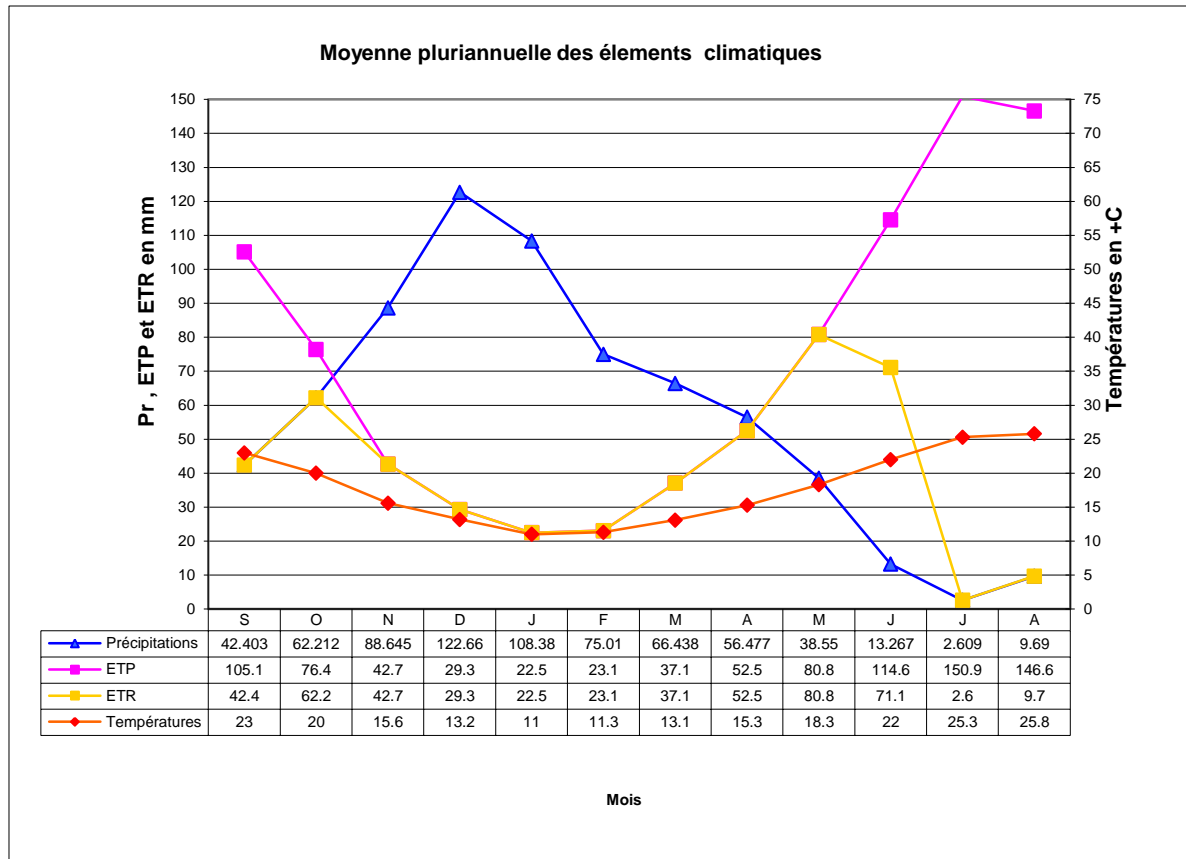


Figure 10. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite (Station les Salines 1982-2011).

I.6. Hydrogéologie

Dans cette partie, nous allons donner un bref aperçu sur les aquifères de la wilaya de Annaba, ce qui nous permettra de visualiser les nappes présentes et de déduire les processus régissant les écoulements.

I.6.1- La nappe superficielle :

Cette nappe est répandue sur la majorité de la plaine d'Annaba. D'après la géomorphologie de la région, on peut diviser la nappe en deux régions qui communiquent entre elles à travers le cordon dunaire (Gantra), dont la texture est différente.

- La région Est présente une nappe superficielle continue, localisée dans la plaine Ouest d'El Hadjar ainsi que dans la région d'Allélick (Habes, 2006).
- La région Ouest est une nappe superficielle discontinue qui entoure le lac Fetzara. La lithologie de la nappe entourant le lac est constituée par des alluvions récentes (sables, limons, argiles) avec une texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse, son épaisseur varie entre 2 et 10m, donc à potentialités hydrauliques très limitées.

La capacité d'infiltration de l'eau dans le sol est moyenne d'ordre de 0,05 à 0,10m/j. La nappe superficielle est fortement exploitée par les puits surtout et quelques forages. L'alimentation de cette nappe se fait par les précipitations et par les crues des oueds (Zenati, 1999).

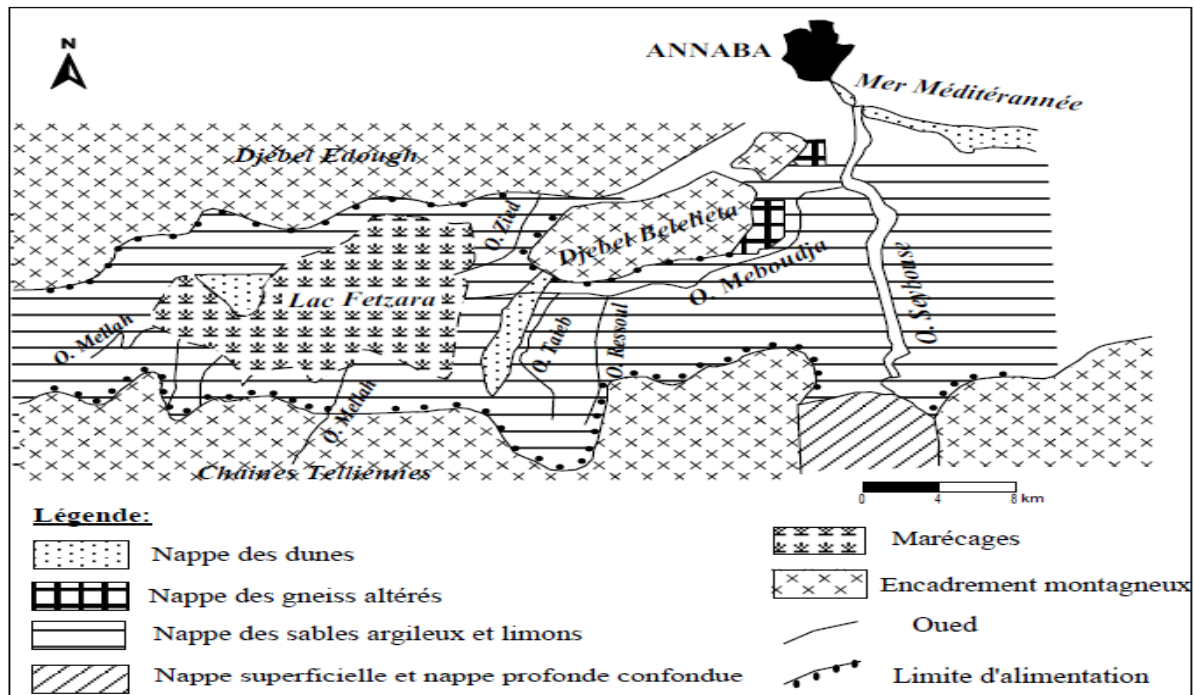


Figure 11 Carte de répartition des nappes superficielles (Zahi, 2014).

I.6.2- Les nappes profondes

a. La nappe des cipolins (formation métamorphique)

Elle est contenue dans les lentilles des calcaires métamorphiques fissurés des massifs de Bouhamra et Bellelita, profonde de 12 à 80m. Les débits d'exploitation des forages sont de l'ordre de 15l/s et les transmissivités varient entre $5 \cdot 10^{-5}$ et 10^{-3} m/s (Derradji et al, 2005).

b. La nappe des graviers

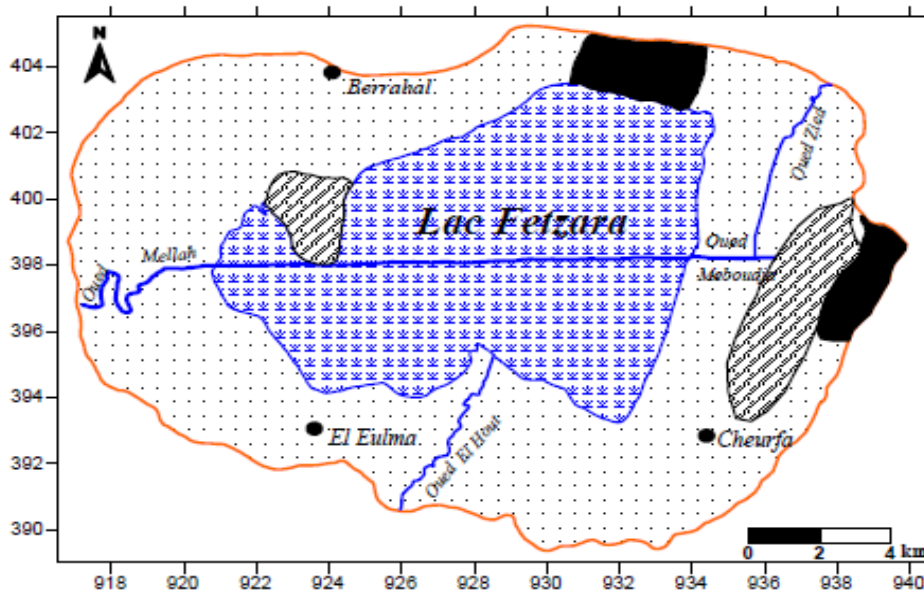
Cette nappe est captive dans la région de Annaba, au-dessous de la nappe superficielle. Elle devient libre dans la région de Dréan. Elle est contenue dans les graviers dans sa partie captive, par contre elle est constituée de sables et de galets du Plio-Quaternaire dans sa partie libre. La transmissivité est de $3,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s. L'épaisseur de la nappe ne dépasse pas les 70 m.

I.6.3- La perméabilité

Les mesures de la perméabilité verticale selon la méthode de Henin montrent que les valeurs de la perméabilité variant entre $0,11 \cdot 10^{-5}$ m/s et $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (Zenati, 1999).

L'examen de la carte de la perméabilité verticale fait apparaître trois types de sols.

- Les sols peu perméables dont la valeur de la perméabilité verticale est de $0,11 \cdot 10^{-5}$ m/s, ils occupent la partie Nord-Est du lac Fetzara.
- Les sols moyennement perméables avec des valeurs de la perméabilité verticale qui oscillent entre $0,11 \cdot 10^{-5}$ et $5 \cdot 10^{-5}$ m/s caractérisent la majorité de la plaine.
- Les sols perméables dont la valeur de la perméabilité verticale est supérieure à $5 \cdot 10^{-5}$ m/s, caractérisent les régions sableuses (Berrahal et Gantra).



Légende:




-  Sols peu perméables ($0,03 \cdot 10^{-3}$ m/s à $0,11 \cdot 10^{-3}$ m/s)
-  Sols moyennement perméables ($0,11 \cdot 10^{-3}$ m/s à $5 \cdot 10^{-3}$ m/s)
-  Sols perméables (supérieure à $5 \cdot 10^{-3}$ m/s)

Figure 12: Carte de la perméabilité verticale des sols du lac Fetzara (Zahi, 2008).

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.

II.1. Matériels utilisés

II.1.1- Les données satellitaires

a. 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.

b. Les images satellitaires (LANDSAT OLI)

Afin d'étudier l'évolution des états de surface de la plaine de de Annaba nous avons analysé une seule scène d'images Landsat 8 « p193 r34 » de Cinq dates différentes (Janvier 2014, Mars 2014 Septembre 2014 et Janvier 2015). Cette scène contient 12 bandes. On a utilisé les 6 bandes multispectrales (3 visibles et trois infrarouges) qui sont : B2, B3, B4, B5, B6 et B7 à 30 m de résolution.

c. 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 » cinq dates. Elles ont aussi servi pour la vérification et la validation des classifications.

II.1.2- Les logiciels utilisés :

a. 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.

b. 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.

c. 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.

d. 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.

II.2. Méthodologie générale :

II.2.1- La modélisation hydrologique :

a. Processus d'extraction du 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.

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 16).

b. 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.

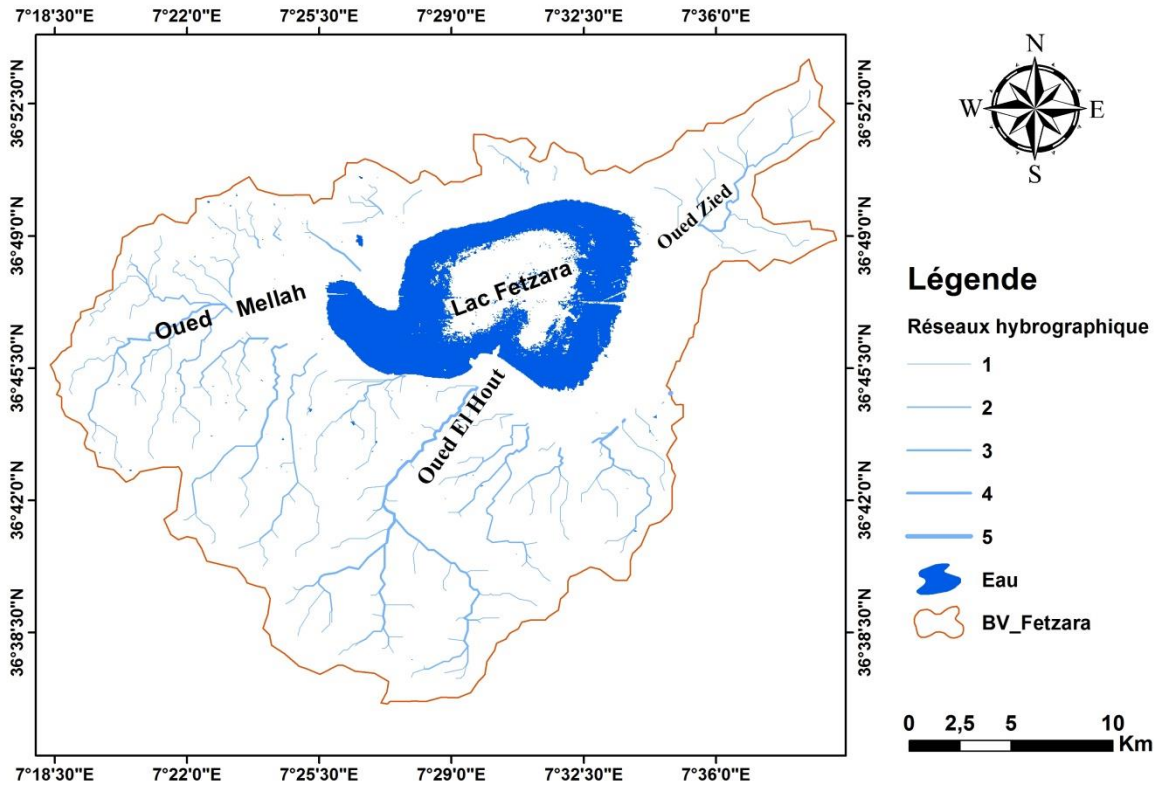


Figure 13. Réseau hydrographique du lac Fetzara

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 14.

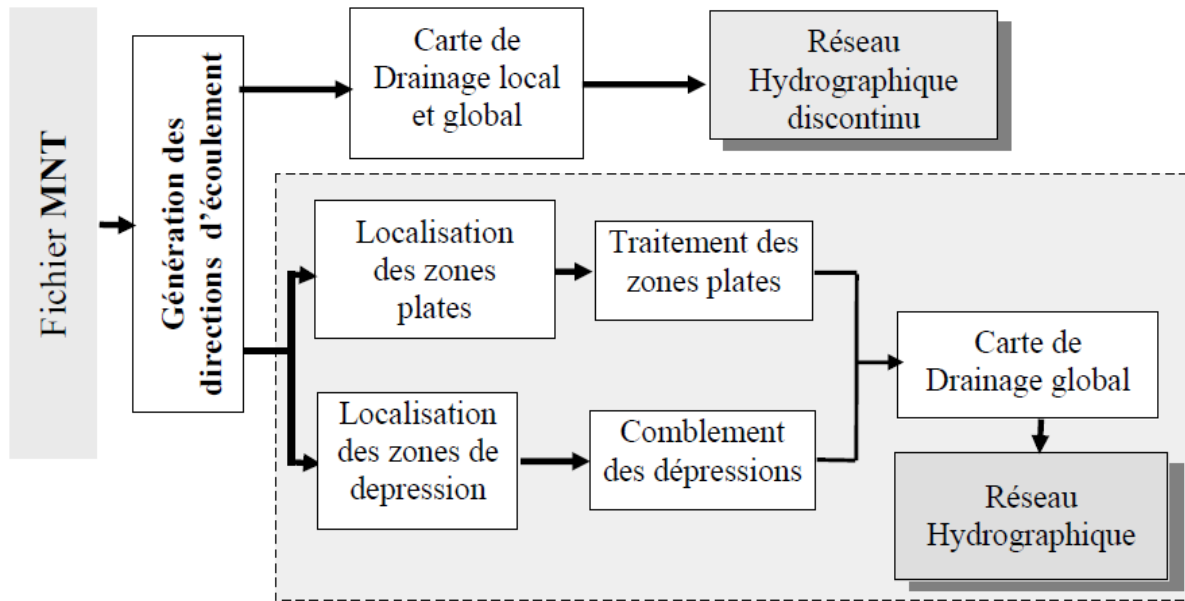


Figure 3. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrographique.

II.2.2- Occupation du sol :

a. 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 réalisée comme suit :

✓ 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.

✓ 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.

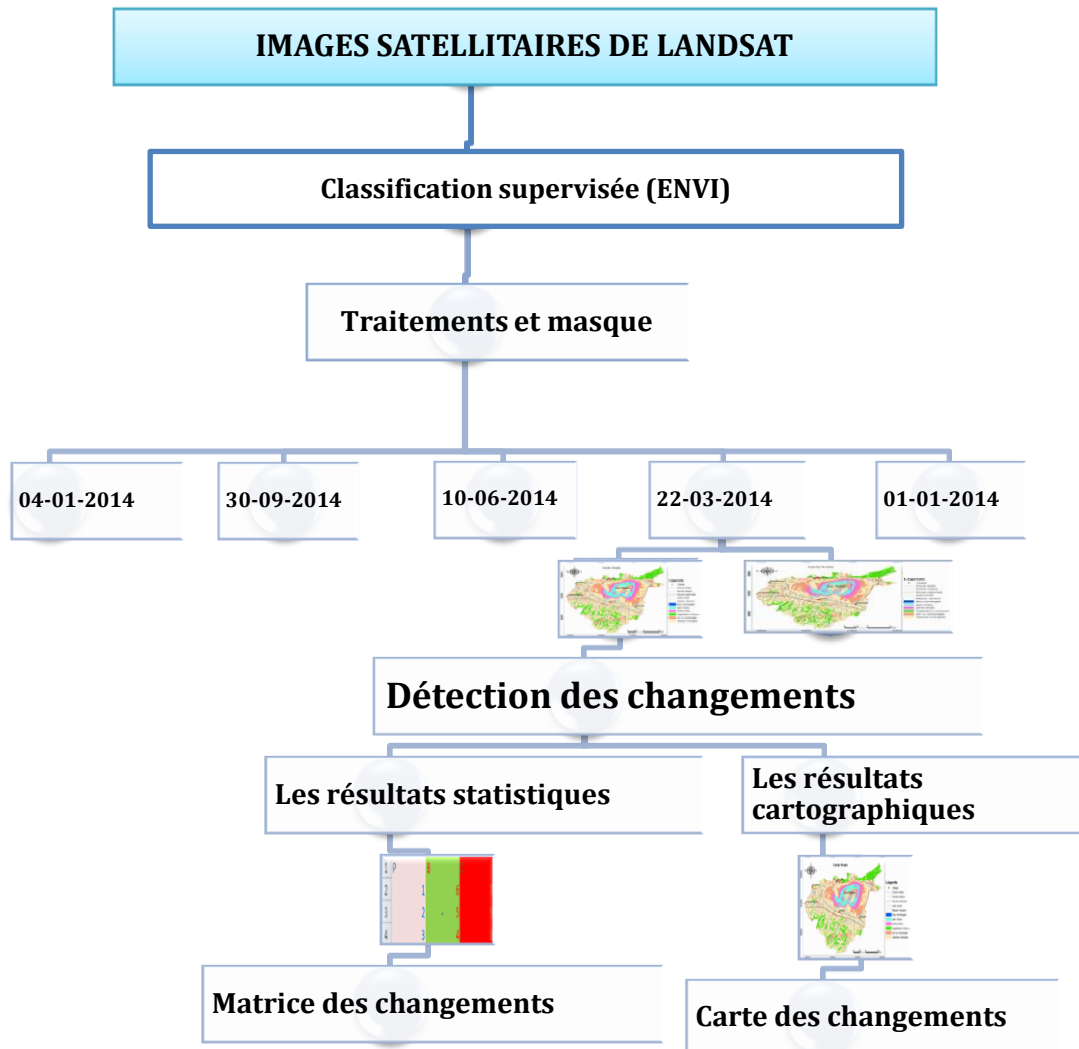


Figure 15. Organigramme du processus général de traitements des images Landsat8

✓ **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.

✓ **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).

b. 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.

✓ **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.

✓ **Indice de l'eau (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

✓ **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 6.. Les seuilles des néo-canaux utilisés pour la classification

Date	01-01-2014		22-03-2014		10-06-2014		30-09-2014		04-01-2014	
Eau	Bande	Seuil	Bande	Seuil	Bande	Seuil	Bande	Seuil	Bande	Seuil
	NDWI	0.05	NDVI	0.025	NDVI	-0.025	NDVI	0	NDWI	0.03
Couvert Végétal	NDVI	0.23	NDVI	0.27	NDVI	0.24	NDVI	0.22	NDVI	0.19

✓ **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, ...)

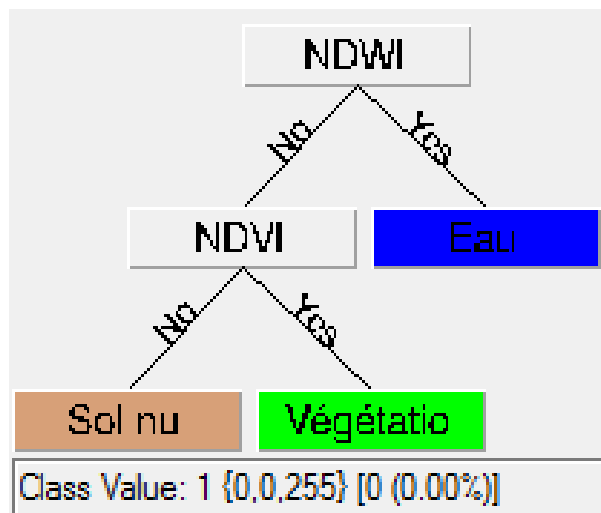


Figure 16 : Classification par arbre de décision

✓ 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.

II.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 ».

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.

c. 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

Dans cette partie on illustre les différents résultats du travail de ce mémoire avec une interprétation discussion de ces derniers. Ce travail est principalement une cartographie par l'outil télédétection avec l'interprétation des résultats de différents traitements multispectrales des images satellitaires. Des cartes de classification ont été présentées, ainsi que des cartes d'évolution spatiotemporelles d'occupation de sol dans la région d'étude.

III.1. Hydrologie :

III.1.1- Bassin versant :

Le tableau ci-dessous résume les paramètres de surface caractérisant le bassin versant du lac Fetzara (surface et périmètre). Ces données viennent d'actualiser celles faites avant par d'autres méthodes (Zahi 2014).

Tableau 7. Les périmètres et les surfaces de bassin versant du lac Fetzara.

Bassins versants du lac Fetzara	
Surface (ha)	51551,6
Périmètre (km)	125,907

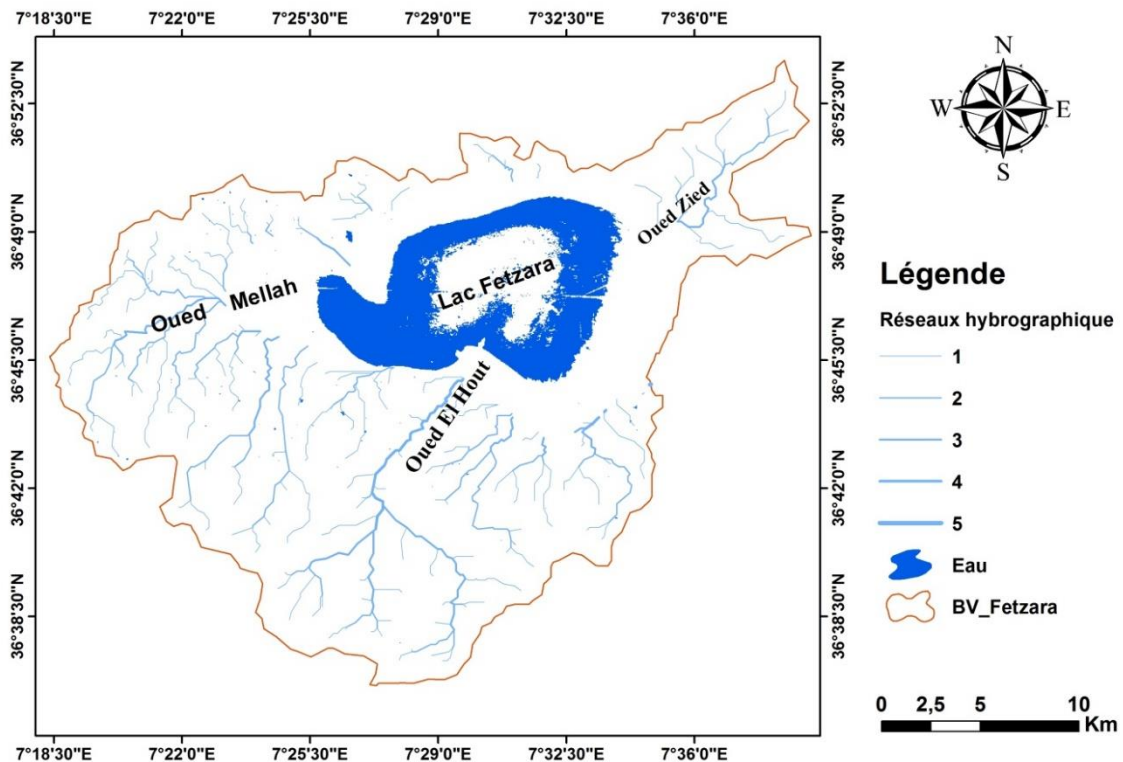


Figure 17: Réseau hydrographique du Lac Fetzara

Le réseau hydrographique du bassin versant du Lac Fetzara réalisé dans ce travail renferme toujours trois oueds principaux : oued Mellah, Oued El Hout et oued Zied (fig 17).

Ces oueds sont décrits ailleurs dans la partie hydroclimatologie. On note que oued Meboudja ne figure pas dans le réseau, puisque il est classé comme étant d'un canal artificiel évacuant le lac dans les périodes du crue.

III.1.2- Carte de classification de différentes dates :

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

a. Classification de Janvier 2014

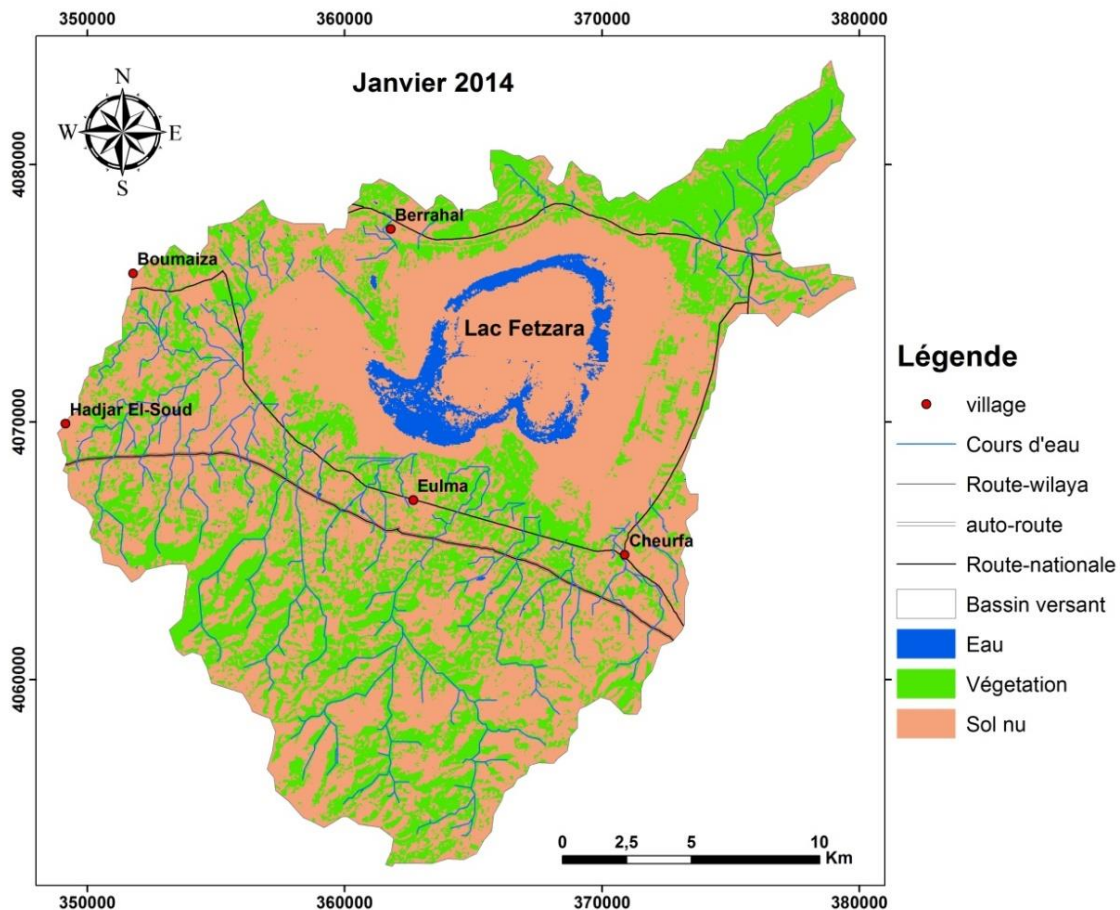


Figure18: carte de classification de Janvier 2014

En janvier 2014, on remarque que le sol nu occupe le centre du lac. IL est entouré des surfaces d'eau.

Les surfaces occupées par la végétation se trouvent ailleurs aux alentours de la dépression du lac. Cette carte montre clairement la dominance des sols nus dans ce mois, suivi en deuxième place la surface de végétation.

b. Classification de Mars 2014

Dans ce mois, une augmentation des surfaces d'eau est bien remarquable. Elle est due aux apports de la période hivernale caractérisant un climat tempéré. Mais cette eau n'arrive pas à remplir le centre du lac, cela est dû à l'effet du canal de drainage d'une part, et la végétation morte au centre qui apparaissent comme sol nu d'une autre part.

La végétation occupe la majorité des surfaces dans ce mois suites aux conditions favorables (eau)

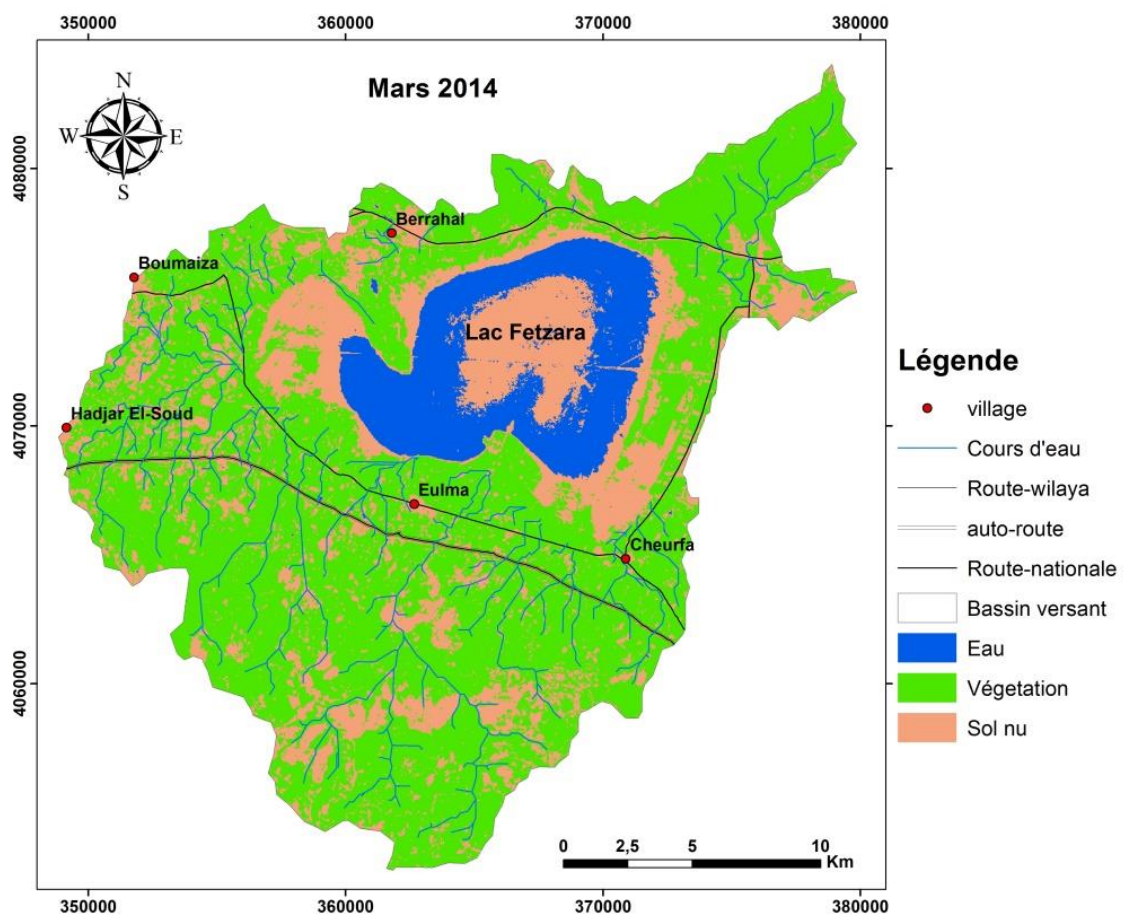


Figure 19: carte de classification de Mars 2014

c. Classification de Juin 2014

Dans ce mois, la surface d'eau apparaît étroitement dans le lac. Des petites surfaces sont dispersées dans le flanc Nord et Sud. Cette diminution est liée aux conditions sévères (haute température et rare précipitation) dans cette période estivale.

La surface du couvert végétal a diminué aussi laissant la place au sol nu. Ce sont généralement des végétaux morts qui n'apparaissent pas avec la couleur verte. Ils ont été attribués automatiquement aux surfaces du sol nu.

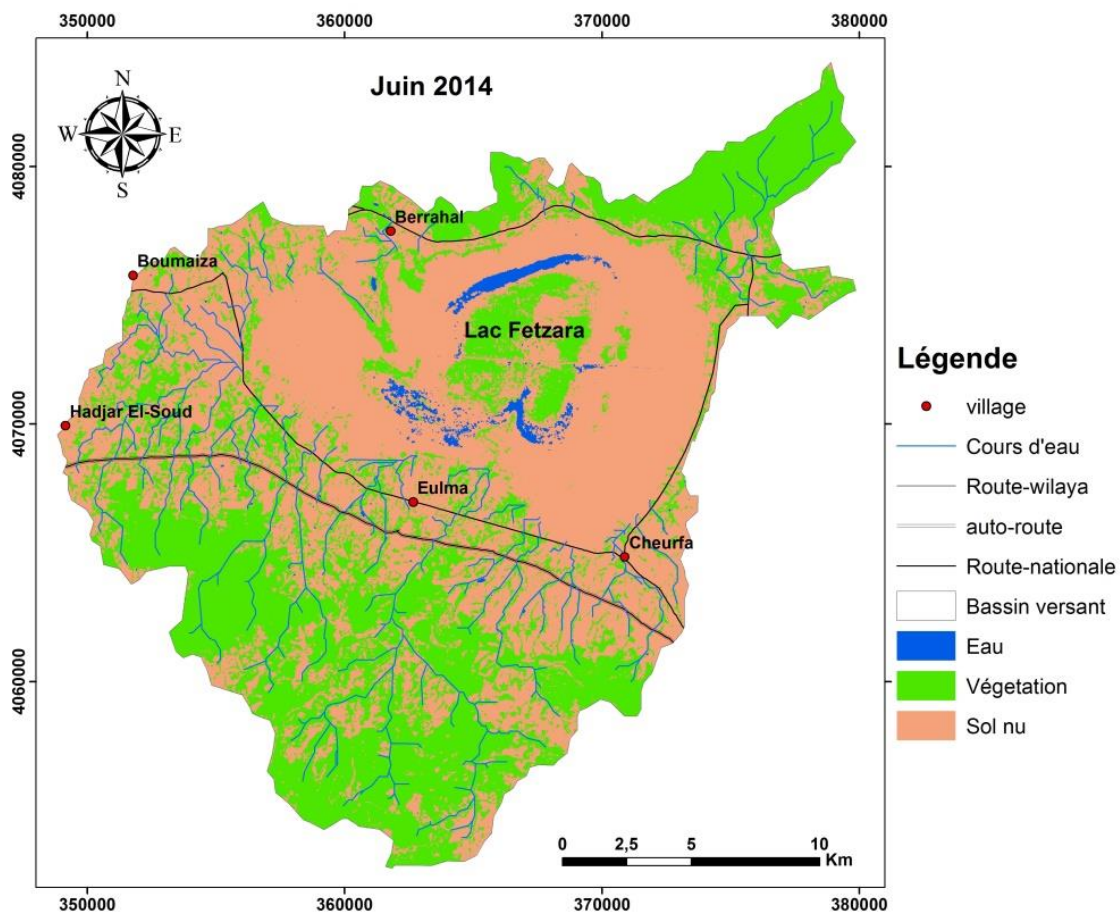


Figure 20: carte de classification de juin 2014

d. Classification de Septembre 2014

On constate dans cette date, l'absence totale des surfaces d'eau dans le lac, puisque ce mois vient directement après une période estivale avec des conditions climatiques sévères surtout dans le mois d'Aout causant une évaporation d'eau, ainsi que le manque des apports alimentant la nappe.

La surface du couvert végétal est diminuée aussi. Ce sont généralement des forêts pérennes occupant les zones les plus hautes. Le sol nu est la classe dominante dans cette date.

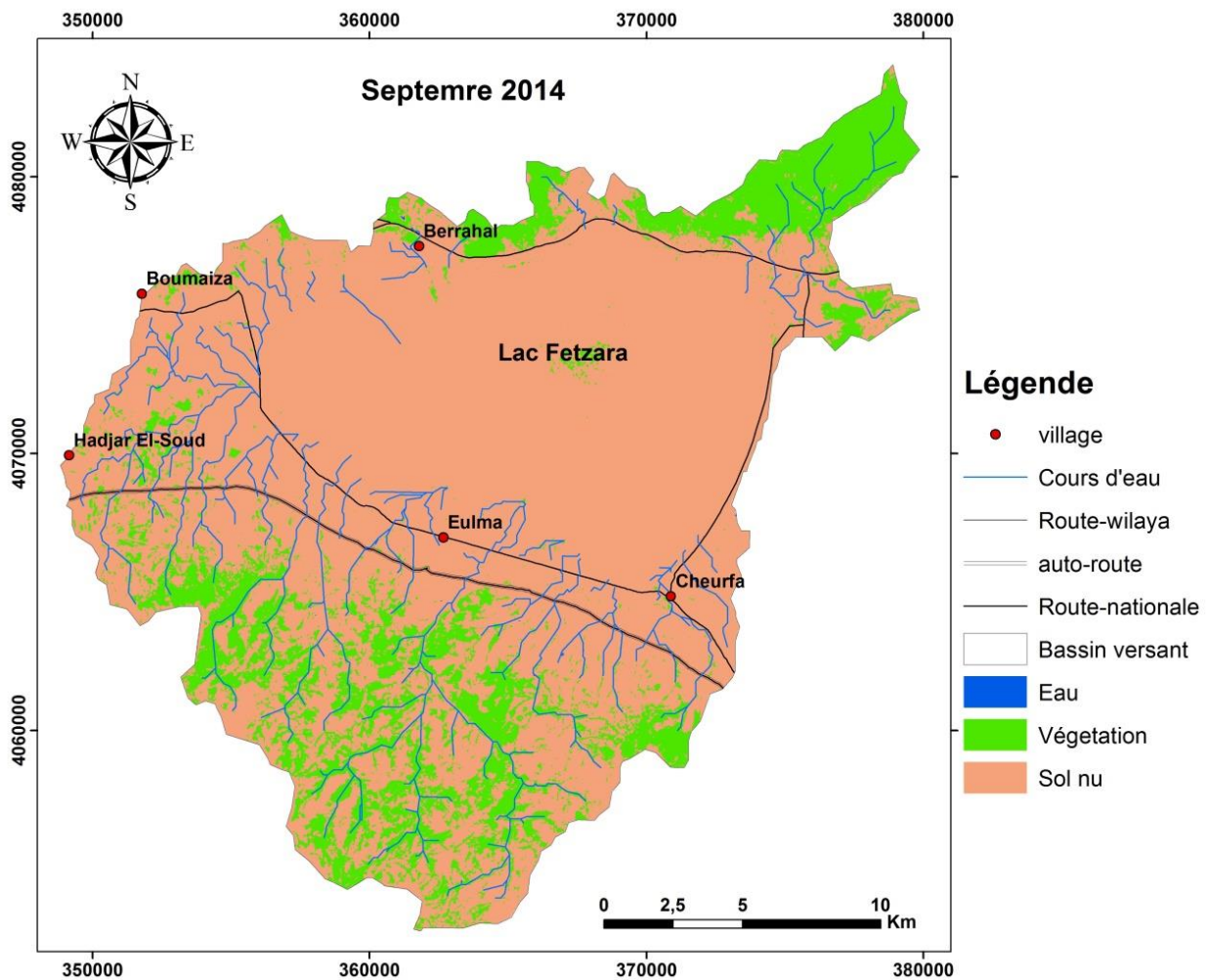


Figure 4: carte de classification de septembre 2014

e. Classification de Janvier 2015

Dans le mois de Janvier, les surfaces d'eau est apparues suite aux apports de précipitations. La surface du couvert végétal est augmentée aussi favorisée par les conditions climatiques qui caractérisent cette période.

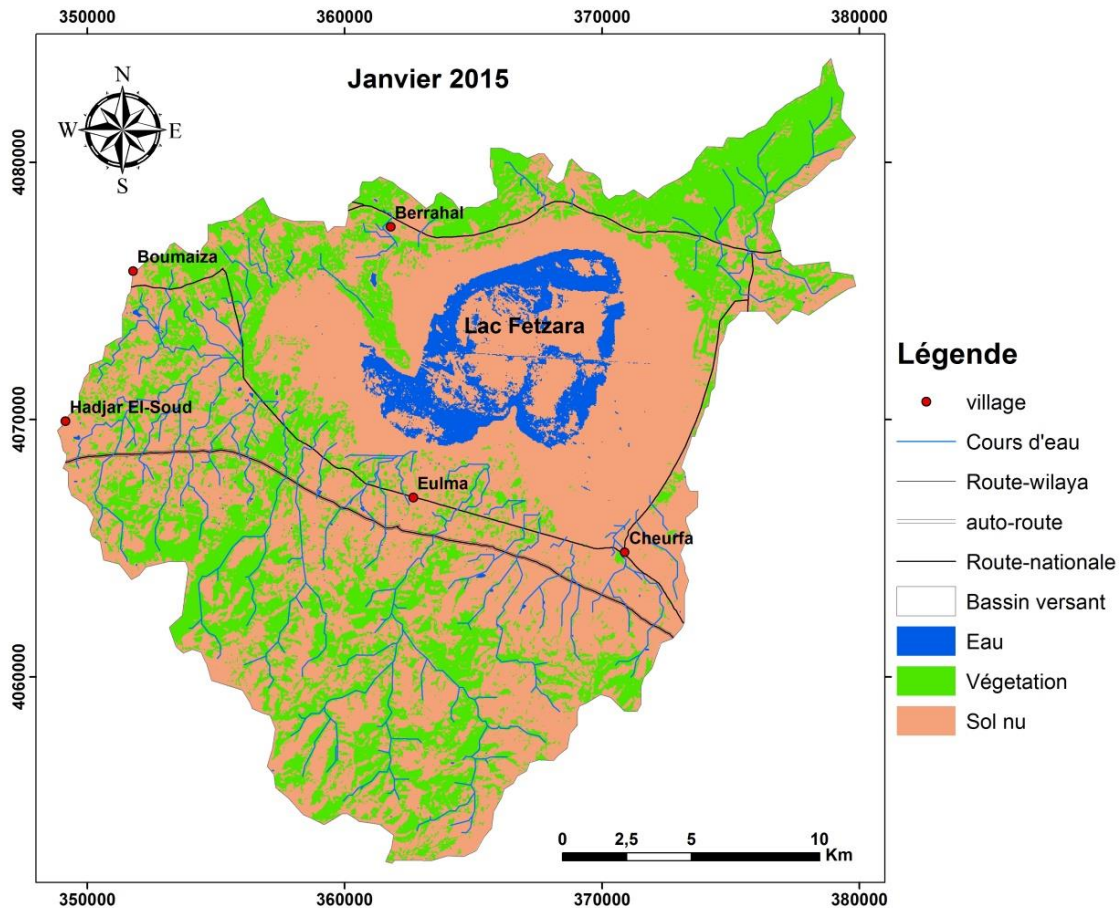


Figure 5: carte de classification de Janvier 2015

III.3. Evolution temporelle des états de surface (Change détection)

Afin d'étudier l'évolution entre les saisons, on a utilisé les quatre intervalles Janvier2014 - Mars, Mars – Juin, Juin septembre, et Septembre – Janvier 2015. Puis l'intervalle de changement entre quatre saisons permet la comparaison entre les quatre couples de changement précédent.

III.3.1- Les matrices de changement :

Les différents changements d'occupation de sol sont quantifiés à partir de matrice de changement. Une simple lecture montre l'évolution des surfaces occupées par ces classes, où chaque colonne représente l'état initial de chaque classe dans la date donnée, ainsi que les différents changements de cette même classe vers autres. Si on prend par exemple la matrice de changement mentionnée dans le tableau 6. La colonne d'eau occupe une surface totale au mois de Janvier 1647.63ha (class total) où 1621.35ha sont restés d'eau, 26.28ha devenus des sols nus, ainsi que les autres évolutions. Cependant chaque ligne montre l'état final de chaque classe. La ligne d'eau par exemple montre que sa surface au mois de Mars est 5365.53ha.

a. Les changements entre (Janvier2014 et Mars) :

✓ **Surfaces inchangées :**

Dans L'intervalle (Janvier et Mars), la surface de l'eau reste inchangée est d'ordre de 1621.35 ha. Les deux autres classes existent avec des surfaces de 12722.49 ha et 15841.62 ha respectivement pour le sol nu et la végétation.

Tableau 8.Matrice des changements entre Janvier2014 et Mars.

		Janvier			Class Total
		Eau	Sol nu	Végétation	
Mars	Eau	1621.35	3743.82	0.36	5365.53
	Sol nu	26.28	12722.49	860.67	13609.44
	Végétation	0	16745.04	15841.62	32586.66
	Class Total	1647.63	33211.35	16702.65	
	Class Changes	26.28	20488.86	861.03	
	Image Différence	3717.9	-19601.91	15884.01	

✓ **Surfaces changée**

Dans la période (Janvier et Mars) on constate une perte de surface d'eau de 26.28 ha qui est complètement transformée en sol nu.

En même temps, un gain de surface d'eau est remarqué de l'ordre (3779.82 ha) issus des changements affectant les deux autres classes.

b. Les changements entre (Mars et Juin) :

Tableau 9: Matrice des changements entre Mars et Juin.

		Mars			Class Total
		Eau	Sol nu	Végétation	
Juin	Eau	563.31	25.56	0	588.87
	Sol nu	4474.71	9660.78	15288.93	29424.42
	Végétation	327.51	3923.1	17297.73	21548.34
	Class Total	5365.53	13609.44	32586.66	
	Class Changes	4802.22	3948.66	15288.93	
	Image Différence	-4776.66	15814.98	-11038.32	

✓ **Surfaces inchangées :**

Entre le mois de (Mars et Juin) nous constatons que la surface d'eau reste inchangée est de 563.31 ha. Les deux autres classes qui existent avec des surfaces de 9660.78 ha Et 17297.73 ha sont respectivement pour le sol nu et la végétation.

✓ **Surfaces changées**

Dans la période (Mars et Juin) nous constatons une perte de surface d'eau de 4802.22 ha transformée complètement au sol nu et à la végétation.

En même temps, un gain d'eau de surface d'eau est remarqué de l'ordre de 25.56ha, c'est le résultat des changements des surfaces de deux classes (sol nu et végétation).

c. Les changements entre (Juin et Septembre) :

Tableau 10.Matrice des changements entre Juin et Septembre

		Juin			
		Eau	Végétation	Sol nu	Class Total
Septembre	Eau	0.0043	0	0.0001	0.0044
	Sol nu	0.6495	13.2438	32.4674	46.3607
	Végétation	0.0005	10.6988	0.2263	10.9256
	Class Total	0.6543	23.9426	32.6938	
	Class Changes	0.65	13.2438	0.2264	
	Image Différence	-0.6499	-13.017	13.6669	

✓ **Surface inchangée :**

L'intervalle entre (Juin et Septembre), montre qu'une surface d'eau pérenne de l'ordre de 0.0043 ha. La surface des deux classes qui restent inchangée est de 13.24 ha et 0.22 ha respectivement pour la végétation et le sol nu.

✓ **Surface changée:**

Dans cette période (Juin et Septembre) nous constatons une perte de surface d'eau de 0.65 ha transformée vers le sol nu et la végétation.

En même temps, on peut dire que ce gain d'eau est presque négligeable.

d. Les changements entre (Septembre et Janvier 2014) :

Tableau 11. Matrice des changements entre Juin et Septembre

		Septembre			
		Eau	Végétation	Sol nu	Class Total
janv-15	Eau	3.78	12.06	2731.23	2747.07
	Sol nu	0.18	1499.58	31224.51	32724.27
	Végétation	0	8321.4	7768.89	16090.29
	Class Total	3.96	9833.04	41724.63	
	Class Changes	0.18	1511.64	10500.12	
	Image Différence	2743.11	6257.25	-9000.36	

✓ Surface inchangée :

Entre les mois de (Septembre et Janvier 2015), la surface d'eau qui est restée inchangée est de 3.78 ha. Dans cette période, les deux autres classes présentent des surfaces inchangées de de l'ordre 1499.58 ha et 7768.98 ha respectivement pour la végétation et le sol nu.

✓ Surface changée :

Dans cette période (Septembre et Janvier 2015) nous constatons une perte de surface d'eau de 0.18 ha transformée complétement vers de sol nu.

En même temps, un gain d'eau de surface d'eau est remarqué de l'ordre 2743.29ha.

2.1.5- Les changements entre trois dates :

On présente ici une quantification des changements de surface d'eau entre trois périodes dont chacune renferme un intervalle de trois mois.

Tableau 12. Surface d'évolution d'eau entre trois dates en ha

Tableau 12:	478.71	1.44	1.53
Eau Inchangée			
Gain D'eau	55.8	0.63	3140.82
Perte d'eau	4832.01	532.44	0.54

- Dans la première période (Janvier, mars et juin) nous remarquons que l'eau inchangée est de l'ordre de 478.71 ha. Quant à lui, le gain d'eau est estimé à 55.8 ha. e concernant la perte d'eau elle est considérablement élevée. On assiste une valeur de 4832.01 ha. Elle est due principalement aux conditions climatiques causant une évaporation surtout dans le mois de Juin.

- Dans la période des mois de (Mars, juin et septembre), on assiste toujours à une perte remarquable dans la surface d'eau sous l'effet des conditions climatiques sévères (température élevée). Cette perte est estimée de 532.44 ha.
- Dans la période qui s'étale entre (juin, Septembre et janvier 2015), on remarque un gain significatif dans la surface d'eau estimée de 3140.82 ha, due principalement aux apports de précipitations en entrant dans la saison hivernale.

2.1.6- Les changements entre quatre dates

On présente dans cette partie l'état de changements des surfaces d'eau entre deux périodes dont chacune contient un intervalle de quatre mois, tout ça est fait pour arriver à quantifier les changements durant une année complète.

Tableau 13.La surface d'évolution d'eau entre quatre dates

Tableau 13:	1.17	1.17
Eau Inchangée		
Gain D'eau	1.08	3134.52
Perte d'eau	5367.96	3.42

Dans la première période qui s'étale entre (Janvier 2014, Mars, Juin, septembre), le caractère de perte dans la surface d'eau règne toujours d'une façon remarquable. Elle oscille une valeur de 5367.96 ha. En revanche, dans la deuxième période (Mars, juin, septembre, Janvier 2015) nous constatons une augmentation remarquable dans la surface d'eau (3134.52 ha). Ces deux résultats reflètent clairement l'effet majeur des facteurs climatiques.

2.1.5- Les changements annuels

Une quantification d'évolution annuelle des surfaces occupées par l'eau a été faite par étude de changements entre les deux périodes précédentes (tableau14).

Les différents résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 14.la surface d'évolution d'eau durant l'année 2014

Jan2014-Mars-Juin -sept-Jan2015	
Eau Inchangée	1.26
Gain D'eau	3139.56
Perte d'eau	3030.84

Donc l'évolution annuelle de la surface d'eau montre un plan d'eau pérenne de 1.26 ha. Cependant, cette surface subit une fluctuation entre gain et perte due principalement aux taux des apports et qui sont en même temps liés aux facteurs climatiques. Pendant la saison

hivernale, le lac reçoit des quantités d'eau de précipitation qui vont augmenter la surface de plan d'eau. En revanche, cette surface d'eau est soumise à une température élevée ajoutée à une rareté de source d'eau supplémentaire. Ce qui provoque une diminution de l'eau de ce lac.

III.4. Cartographie des changements

Dans cette partie on va parler beaucoup plus de répartition spatiale de changement de surface d'eau, c'est-à-dire on va localiser les endroits qui ont devenus des plans d'eau ou l'inverse.

III.4.1- Evolution entre janvier et mars 2014 :

On remarque dans la carte ci-dessous (fig23) que le plan d'eau du lac Fetzara s'élargit aux alentours des surfaces inchangées signalant un gain réparti dans les côtés du lac.

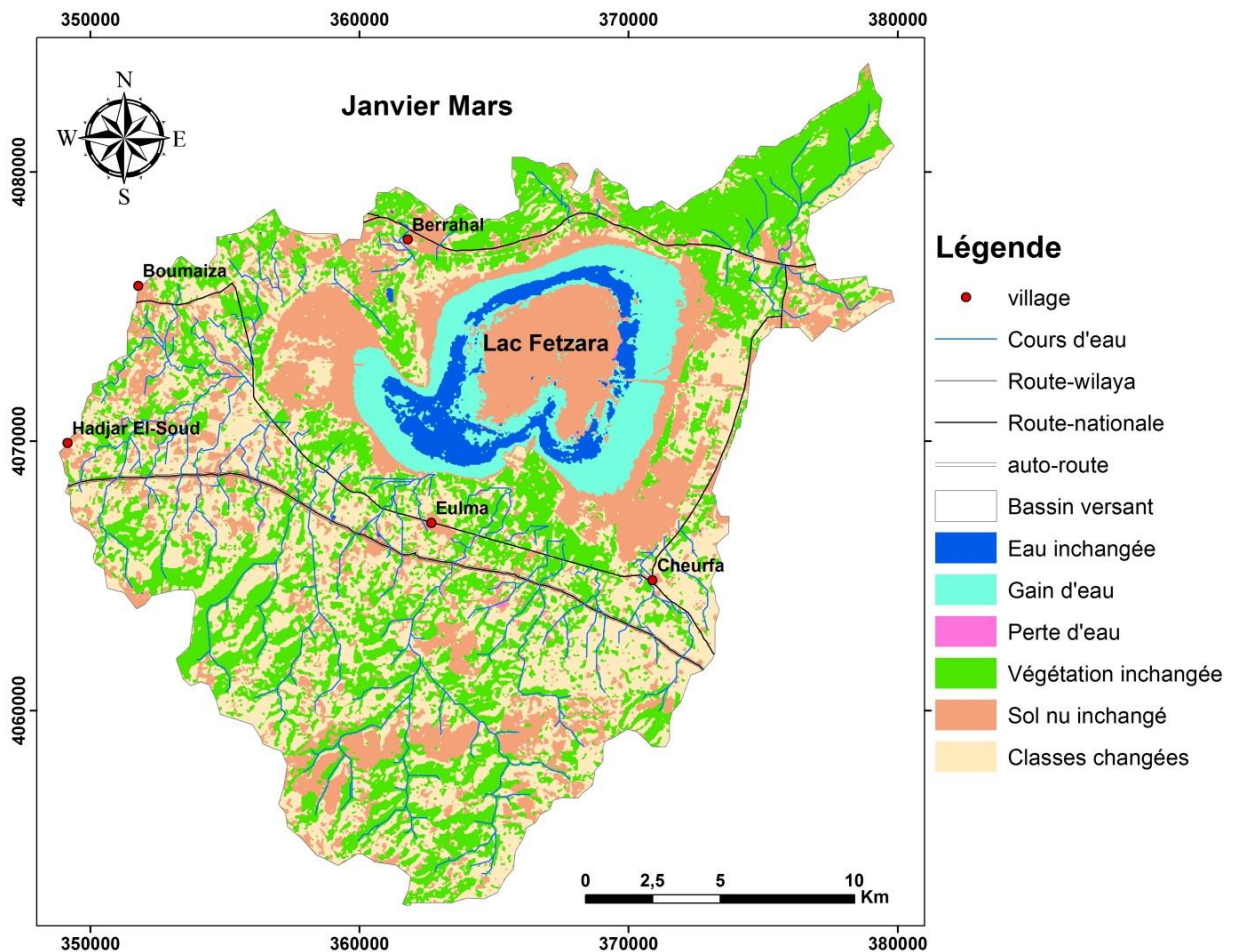


Figure 6: Evolution des états de surfaces entre Janvier et Mars 2014

III.4.2- Evolution entre Mars & Juin :

La carte d'évolution des états de surfaces entre les deux mois (Mars et Juin), montre que la diminution de surface d'eau a touché le lac dans tous les côtés. Dans la partie Est, le lac est

complètement asséché, cela peut être lié au canal d'évacuation de Meboudja. La répartition des surfaces d'eau dans la partie Nord et Sud est probablement liée aux apports limités des oueds.

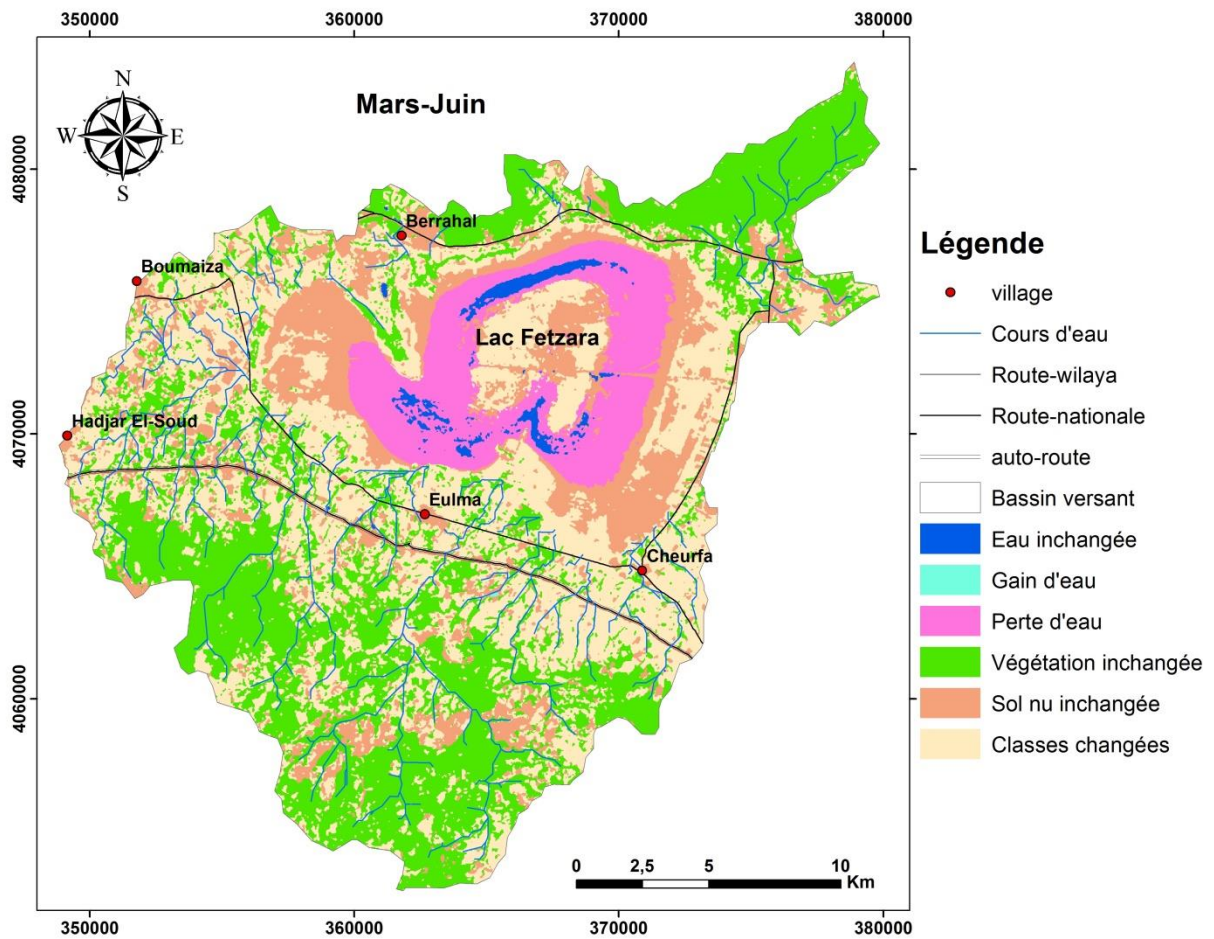


Figure 7: Evolution des états de surfaces entre Mars 2014 et juin 2014

III.4.3- Evolution entre Juin & Septembre :

La carte d'évolution entre Juin et Septembre 2014 (fig 25), montre que les surfaces limitées d'eau apparues dans la carte précédente, sont disparues dans cet intervalle du temps, et le lac est complètement asséché sous l'effet climatique sévère.

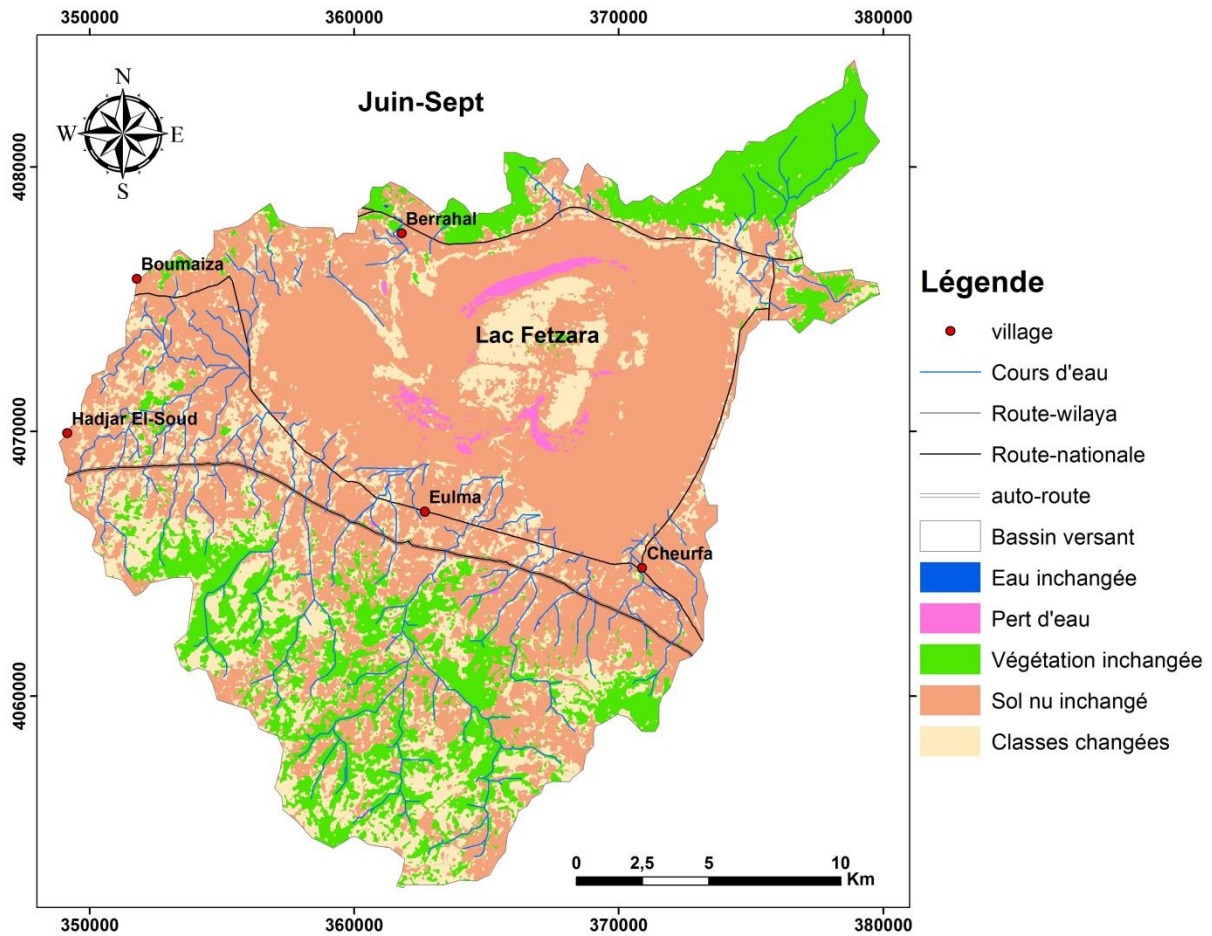


Figure 258: Evolution des états de surfaces entre juin 2014 et septembre 2014

III.4.4- Evolution entre, Septembre2014 et janvier 2015

La carte d'évolution (fig26), montre un gain dans le plan d'eau du lac Fetzara réparti dans tous les côtés du lac surtout dans les parties Nord et Sud où il est alimenté par les différents oueds.

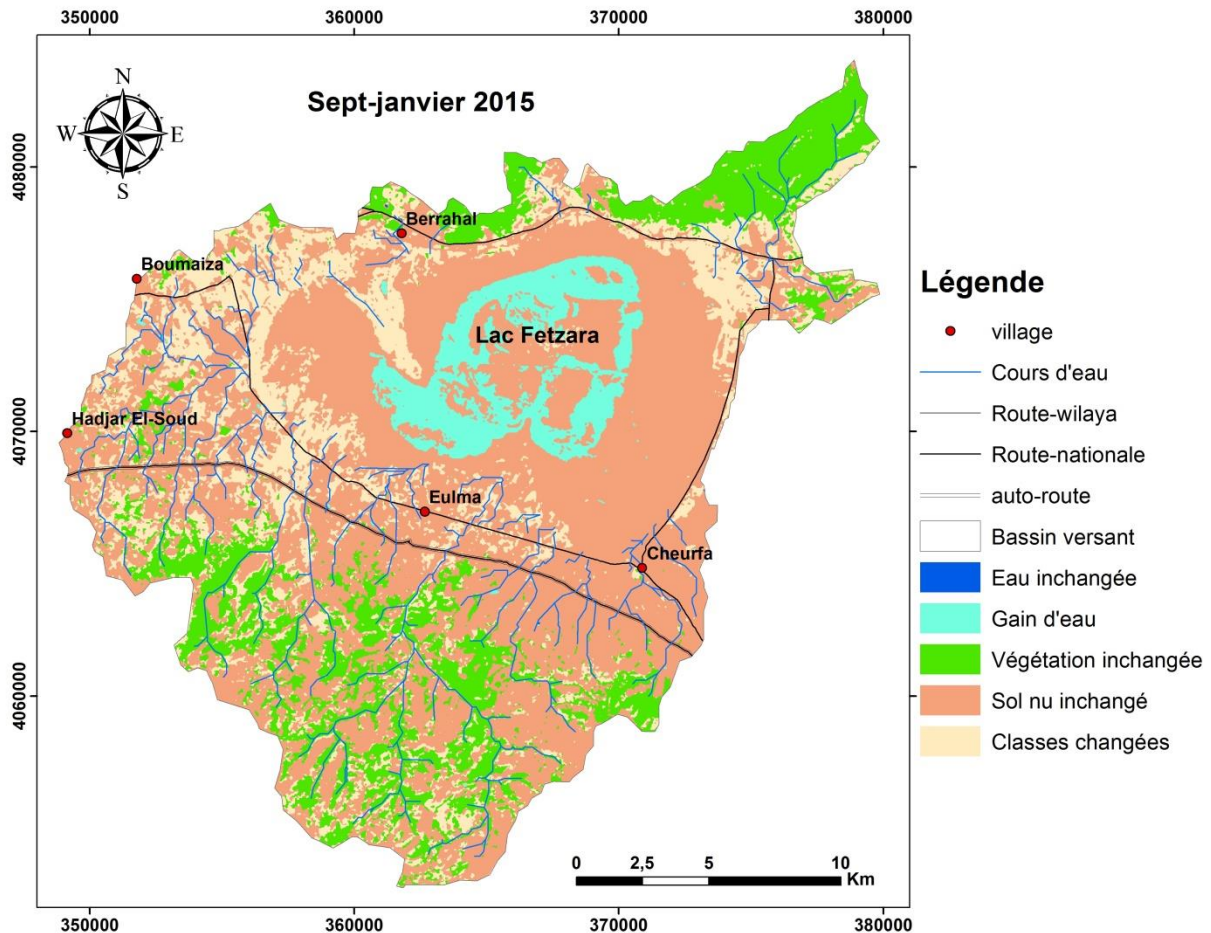


Figure 26: Evolution entre, Septembre2014 et janvier 2015

III.4.5- Evolution annuelle de surface d'eau

La présentation de cartes finale fait ressortir visuellement une nette évolution de surfaces d'eau dans l'année 2014 en quatre couples de changements (janvier 2014-Mars), (Mars-Juin), (Juin- septembre) et (septembre-janvier2015) dans la zone d'fetzara.

Cette carte montre que la fluctuation de la surface d'eau entre gain et perte s'effectue dans tous les côtés du lac Fetzara. Le gain apparait un peu plus dans la partie Nord et Sud, influencé surtout des apports des oueds, et la perte se voit dans la partie Est vers le canal d'évacuation d'oued Meboudja.

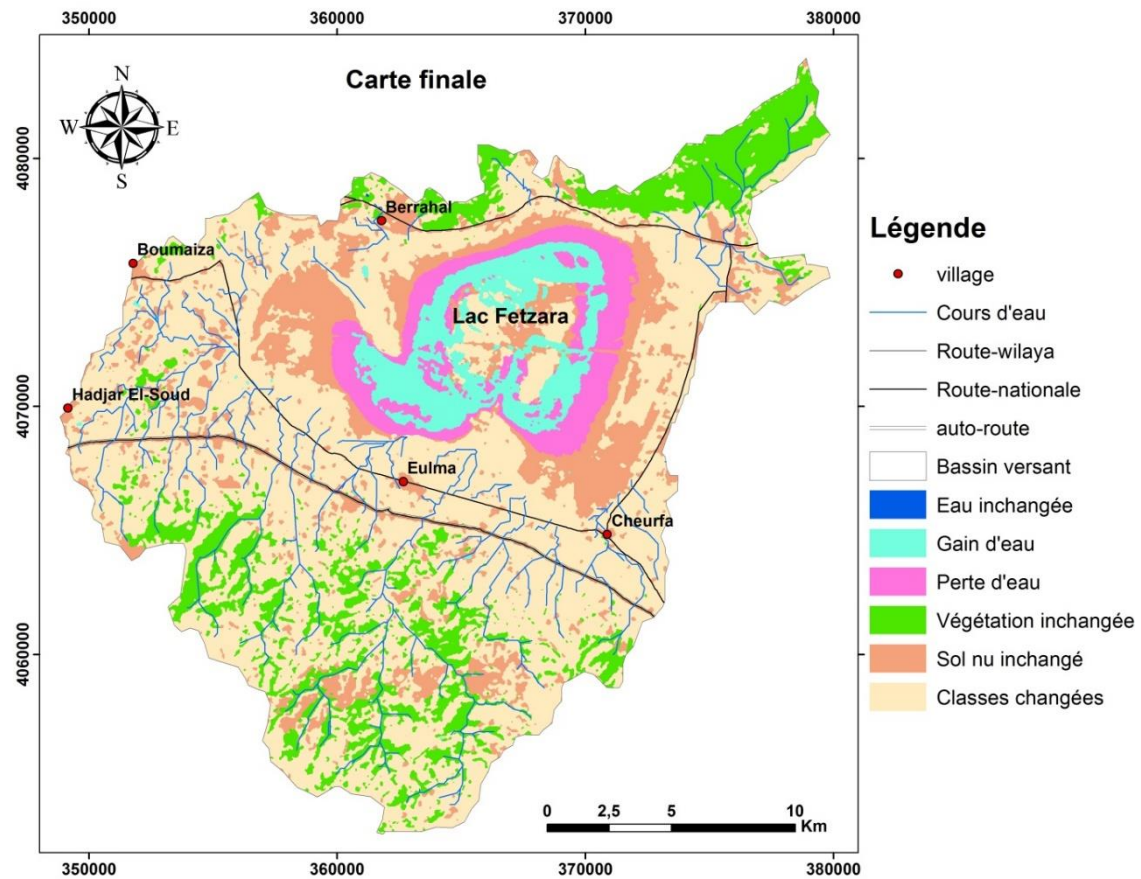


Figure 27: carte d'évolution durant l'année

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons en premier lieu déterminé la carte d'évolution de la région de Fetzara en suivant les deux étapes suivantes : la classification des cartes d'année 2014 et leur validation. Nous avons deux types de résultats qui sont : les matrices des changements et la cartographie.

Les résultats statistiques sont obtenus à partir de la matrice de changements, Ils nous ont offert des informations détaillées sur les surfaces d'occupation du sol de la zone ; et les résultats cartographiques montrent la répartition des changements la surface de différentes classe dans l'espace en donnant une notion sur l'évolution spatiotemporelle entre les saisons dans la région complète.

Donc on peut conclure que :

- durant l'année on voit bien l'influence climatologique sur les changements des surfaces de la zone d'étude.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons donné l'analyse de l'occupation du sol sur les zones humides de Fetzara durant l'année 2014 ; afin de déterminer les facteurs influant sur cet environnement. Pour ce faire, ont été utilisées des images du satellite Landsat 8, Nous avons conclu à partir des résultats obtenus qu'il y a des changements importants sur l'occupation du sol dans la zone.

Dans la zone étudié, la surface d'eau et la surface du sol nu et la surface de végétation varient dans l'espace et dans le temps. Le résultat de l'évolution annuelle de surface d'eau montre que celle-ci est pérenne dans toute l'année même avec une surface limitée. La surface totale varie entre perte et gain suivant la saison d'une manière remarquable. Ce résultat peut être utilisé dans un plan de gestion de cette zone humide.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- ✓ *AJCI, 1985. Etude de la faisabilité du projet d'aménagement agricole de la région périphérique du lac Fetzara. Agence Japonaise de Coopération Internationale (AJCI), Vol. 3, 56 p.*
- ✓ *Belherma, (2001). Contrôle de la salinité des eaux du lac Fetzara jusqu'à la mer. Mémoire de Magister, option : Biologie et physiologie des organismes Marins. Univ. Annaba, 110 p.*
- ✓ *. Bekkari Belgacem Seif Allah, (2014), Evolution des activités anthropiques et leurs influences sur l'environnement de la région d'Oued Souf (sud-est algérien). Thèse asetr academique, Université Kasdi Merbah Ourgla, 55P*
- ✓ *Boudjemaa Sonia, (2010), Cartographie des relations sol-eau-végétation dans un milieu salé (lac Fetzara). Thèse université Badji Mokhtar, Annaba, 123p..*
- ✓ *Derradji F., Kherici H & Caruba R., 2005. Etude de la drainance dans un système de nappes superposées. Exemple de la nappe d'Annaba (Nord-Est d'Algérie). La Houille Blanche, N°1, pp 65-72*
- ✓ *DGF ; 2003 – Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Lac Fetzara, wilaya d'Annaba ; Direction générale des forêts.*
- ✓ *Habes S.; 2006 - Pollution saline d'un lac, cas du lac Fetzara, Est Algérienne. Mémoire de Magister, Univ. Annaba; 103 p.*
- ✓ *HABES Sameh, (2013), Caractéristiques chimiques d'un lac appartenant aux écosystèmes humides du Nord de l'Algérie; Cas : Lac Fetzara Nord - Est Algérien. Thèse, Doctorat université Badji Mokhtar, Annaba, 218p.*
- ✓ *Joleaud L., 1936. Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull. Serv. Carte Geologique de l'Algérie. 2e série, 12, 200 p.*
- ✓ *Marre, A., 1992. Le Tell oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne, étude géomorphologique, volume 1 & 2 O.P.U. Alger, Algérie.*
- ✓ *Zahi F., 2008. La qualité des eaux et des sols de la région du lac Fetzara (Nord-Est Algérien). Mémoire de Magister, Université de Annaba, Algérie, 150 p*
- ✓ *ZAHY Faouzi, (2014), Contribution à l'étude hydrochimique du sous bassin versant du lac fetzara (nord-est algérien). Approche geochimique et fonctionnement des sols et des eaux. Thèse Doctorat es-sciences, université Badji Mokhtar, Annaba, 193p.*

- ✓ ZENATI N. ; 1999 – *Relation Nappes-Lac Fetzara ; Confirmation par l'hydrochimie cas de la plaine Ouest d'El Hadjar Lac Fetzara N-E Algérien. Mémoire de Magister, option : Chimie et Environnement. Université Badji Mokhtar Annaba, Institut de Chimie. ,151 p.*
- ✓ Zenati N., 2010. *Pollution de l'environnement aquatique : diagnostic et proposition « Région de Annaba ».* Thèse de Doctorat en géologie appliquée, Université de Annaba, Algérie, 289p.

Données :

Image satellitaire Landsat 8. Scène Image MNT,

http: [www.google](http://www.google.com) [Earth.com](http://www.google.com) / http: www.landsat.usgs.gov.com

Résumé:

Notre étude est basée sur l'imagerie satellitaire pour préparer un calcul précis de la surface couverte par l'eau dans le lac Fetzara pendant les quatre saisons de l'année pour expliquer les raisons qui ont causé le diminué ou augmenter l'eau ce lac où et quand

En raison de la hausse des températures en été ce qui provoque l'évaporation de l'eau, la surface d'eau et de végétation est diminuée ce processus est accompagné d'une diminution importante des précipitations à une valeur inférieure au cours du printemps à presque zéro en Juillet et Août

ملخص

المذكورة التي بين أيديك هي دراسة تعتمد على الصور الملتقطة بالأقمار الاصطناعية لإعداد احصاء شامل للمساحة التي تغطيها المياه في بحيرة فتزارة خلال الفصول الاربعة للسنة و ذلك لتفسير الاسباب التي تسبب تراجع او زيادة المياه في هذه البحيرة أين و متى

حيث تتراجع المياه في الصيف و كذلك الغطاء النباتي نتيجة ارتفاع درجات الحرارة الذي يتسبب في تبخر الماء ويصحب هذه العملية تناقص كبير في التساقطات المطرية إذ تشهد هذه التساقطات اكبر قيمة لها خلال الشتاء و تبدأ قيمتها تقل خلال الربيع لتتعدم تقريبا في يوليو و أغسطس

يمكن القول ان اكثر العوامل تأثيرا هي التساقطات المطرية و درجات الحرارة

Resume:

Our study is based on satellite imagery to prepare a precise calculates the area covered by water in the lake of Fetzara during the four seasons of the year to explain the reasons that caused the decrease or increase water lake where and when

Due to rising summer temperatures causing the evaporation of water, the water surface and vegetation are reduced this process is accompanied by a significant decrease in precipitation to a lower value during the spring almost zero in July and August