

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTE DESHYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES

SCIENCES LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



Mémoire de Master Académique

Domaine : science de la terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

LES ZONES HUMIDES DU NORD-EST ALGÉRIEN CARTOGRAPHIE ET MISE EN VALEUR (CAS DU BASSIN VERSANT DE LA MAFRAGH)

Présenté par

BOUKLAB Mohammed

CHEKIROU Abd Eldjalil

Devant le jury :

Président :	<i>Mme BOUCHAGOURA Louiza</i>	<i>MAA</i>	Univ. Ouargla
Promoteur :	<i>DJIDEL Mohamed</i>	<i>Pr.</i>	Univ. Ouargla
Examineur :	<i>Mme MAABDI Nawel</i>	<i>MAA</i>	Univ. Ouargla

Année Universitaire: 2016/2017



Dédicace

Nous dédions ce travail :

À nos Familles. (Surtout nos parents)

Nos Amis.

Nos collègues.

*Et toutes les personnes qui nous a aidés de loin ou de proche
pour réaliser ce travail.*

L'ensemble du binôme (**MOHAMMED ET ABDELJALIL**)





Remerciement

Avant tout, nous remercions **Dieu**, le tout puissant, de nous avoir accordé la santé, le courage et les moyens pour suivre nos études, et la volonté pour la réalisation de ce travail.

✦ Nous remercions vivement notre encadreur, monsieur **DJIDEL MOHAMED** qui nous a orientés tout le long de cette étude. Ses conseils forts- judicieux, ses encouragements, et pour sa gentillesse.

– Nous voudrions, également remercier très chaleureux monsieur **MEDJANI FETHI** pour ces conseils précieux et la correction de notre mémoire.

– Nos remerciements s'étendent également à complets nos enseignants durant les années des études.

En fin nous remercions tous qui nous ont aidés près ou de loin à l'élaboration de cette étude.

Merci pour tout

L'ensemble du binôme (**MOHAMMED ET ABDELDJALIL**)

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Description de la zone d'étude	3
I : Situation géographique du bassin versant de la Mafragh :	3
II : Aperçu socio-économique :.....	4
III : Topographie et Energie du Relief :	4
1 : Topographique et Morphologie du Bassin Versant	4
1.1 : Les Plaines Littorales.....	5
1.1.1 : La Plaine de Boutheldja (basse vallée du Kébir-Est).....	5
a : Les Bordures de la Plaine d'Annaba (Basse vallée de la Mafragh).....	5
b : Garaat El M'Khada :.....	6
Photo. 1 : Paturage dans garaat M'khada (Affoun, 2006).....	6
1.2 : Les Bassins Intérieurs :.....	6
1.2.1 : Les Bassins Montagnards :.....	6
a : Le Bassin de la Cheffia :	6
b: Le Bassin d'Ain el Karma :.....	7
c : Le bassin de Bouhadjar :	7
1.2.2 : Le Bassin des Plaines :	7
1.2.3 : Les Bassins Littoraux :	7
a : Lac Oubeïra :.....	7
1.3 : Les Basses Montagnes :.....	8
1.3.1 : Les Basses Montagnes des Monts de la Cheffia :	8
1.4 : Les Hautes Montagnes (Djebels) :	8
1.4.1 : Les Monts de la Cheffia :.....	8
1.4.2 : Les Monts de la Calle (El Kala) :	8
1.4.3 : Les Monts de la Medjerdah :	9
1.5 : Le Cordon Dunaire :	9
2 : Formes de Relief Marqués par des Tranches d'Altitudes :.....	9
2.1 : Plaines et épandages de 0 à 50 m :	10
2.2 : Les Versants:.....	10
2.3 : Les Collines :.....	10
2.4 : Les montagnes :.....	10
IV. Etude Géologique :.....	11

1. Formations Géologiques en Faveur du Réservoir Aquifère du Bassin Versant :	11
1.1 : Les Formations Post-Nappes :	12
1.1.1 : La Plaine d’Annaba/Boutheldja :	12
1.1.2 : La formation des dunes :	13
1.1.3 : Les Eboulis de Pente :	14
1.2 : Les formations Anti-nappes : Ensemble des unités allochtones (flyschs et Nappes) :	14
1.2.1 : Nappe numidienne (Argiles sous-numidiennes) :	14
1.2.2 : Les Flyschs Massyliens :	15
1.2.3 : Le Tellien :	15
1.3 : Paléogéographie :	15
Conclusion	16
V : Aperçu Hydrogéologiques :	16
1 : Les Différentes Nappes du Système Aquifère du Bassin Versant de la Mafragh :	16
1.1 : Plaines d’El Asfour :	16
1.1.1 : La Nappe Semi-captive :	16
1.1.2 : La Nappe superficielle :	17
1.2 : La Plaine de Boutheldja :	17
1.2.1 La Nappe Libre du Massif Dunaire :	17
1.2.2 : Nappe captive :	18
1.2.3 : Nappe superficielle :	18
1.3 : La Plaine d’El Tarf :	18
1.3.1 : Nappe profonde :	18
1.3.2 : Nappe superficielle :	18
1.4 : Nappe de la Plaine d’Annaba :	19
1.4.1 : Nappe des alluvions récentes et actuelles (superficielle) :	19
1.4.2 : Nappe des graviers (profonde) :	19
Conclusion :	20
VI. Hydrologie du Bassin Versant de la Mafragh :	21
1 : Hydrologie et Ressources en Eau dans le Bassin Versant de la Mafragh :	21
1.1 : Hydrologie des Oueds Bounamoussa et Kebir-Est :	21
1.1.1 : Le ruissellement :	22
1.1.2 : Estimation de l’infiltration :	22
VI : La Climatologie :	22
1 : Les facteurs climatiques :	23
1.1 : Précipitation :	23
1.1.1: les précipitations mensuelles :	23

1.1.2: précipitation annuelles :.....	23
1.1.3: Coefficient pluviométrique :.....	24
1.1.4: l'indice d'aridité (l'indice de Demartonne) :	25
1.2 : Température :.....	25
1.3 : Humidité de l'air :.....	26
1.4 : Le vent :.....	26
1.5: Bilan hydrique :.....	27
1.5.2 : Interprétation du bilan de Thornthwaite:.....	27
Conclusion :.....	28
Chapitre II : Matériels et méthodes.....	29
Introduction :.....	29
I : Matériels.....	29
1 : Les données satellitaires.....	29
1.1 : Les images (MNT).....	29
1.2 : Les images satellitaires (LANDSAT OLI) :	29
1.3 : Les images Google Earth:.....	29
2 : Les logiciels utilisés :	30
2.1 : Global Mapper :	30
2.2 : ArcGis 10.3 :	30
2.3 ENVI 5.1 :.....	30
2.4 Google Earth Pro :.....	30
2.5 Diagramme :.....	31
2.6 PhreeqcI v 2.15 :	31
II : Méthodes :.....	31
1 : La modélisation hydrologique :	31
1.1 Processus d'extraction du réseau hydrologique :	32
1.2 : Extraction de la carte des pentes :	32
2 : Occupation du sol :.....	33
2.1 : Les prétraitements des images :.....	33
2.2 : Correction radiométrique :	33
2.3 : Correction atmosphérique :	33
2.4 : Classifications des images :.....	34
2.4.1: Indice de végétation (NDVI) :	34
2.4.2 : Seuillage des bandes (segment image) :.....	34
2.5 : Cartographie par ArcGis 10.3 :.....	35
III : Hydrochimie :	35

1 : Mode échantillonnage :	35
2: Méthodes d'analyses des eaux :	37
2.1 : Les analyses sur terrain (Mesures in situ) :	37
2.2 : Analyses au laboratoire :	37
2.3 : Méthodes de traitement des résultats :	37
2.4 : Aptitude des eaux à l'irrigation :	38
Chapitre III : Résultats et discussion :	39
Introduction	39
I : Hydrologie :	39
1 : Etude du bassin versant de la mafragh :	39
1.1 Caractéristique de la forme du bassin versant :	39
1.1.1: Carte des pentes :	40
a : La classe (0-2 %) :	40
b : La classe (2-6 %) :	41
c : La classe de (6- 12%) :	41
d : La classe de (12-18%) :	41
e : La classe supérieure à 18 % :	41
2 : Réseau hydrographique :	41
3 : Occupation du sol :	42
3.1: Classification supervisée des images :	42
3.1.1 : Les matrices de changements :	43
3.1.2 : La cartographie des changements :	43
II: Hydrochimie:	45
1 : Description des résultats d'analyses chimiques de l'eau :	45
1.1: Parameters physico-chimiques:	45
1.1.1: Potential hydrogène (pH):	45
1.1.2 : La conductivity électrique :	46
1.1.3: Température des eaux :	47
1.1.4: L'oxygène dissous (O₂):	47
1.1.5 : Les éléments majeurs :	48
a : Les cations :	48
b : Les anions :	50
1.1.6 : TDS (taux de salinité) :	51
1.1.7: Les nutriments :	51
a : Les nitrates (NO₃⁻) :	51
b - l'Ortho-phosphate (PO₄⁻³) :	51

1.2: Faciès chimiques des eaux :	52
1.2.1 : Formule ionique :	52
1.2.2 : Diagramme de piper :	53
2 : Aptitude des eaux à l'irrigation :	54
3. L'indice de saturation :	55
Conclusion :	56
Conclusion générale.....	57

Liste des tableaux

Tableau 1: Apports moyens annuels des principaux oueds (Source : D.H.W, El-Tarf)	21
Tableau 2: Paramètres du bilan hydrique.....	22
Tableau 3: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station d'Ain Assel (1996_2013)....	23
Tableau 4: variations annuelles des précipitations à la station d'Ain Assel	24
Tableau 5: Récapitule les résultats du coefficient pluviométrique (Cp).....	24
Tableau 9: Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station d'ain Assel 1996-2013)	28
Tableau 10: Les seuilles des néo-canaux utilisés pour la classification par Arbre de Décision.....	34
Tableau 11: Campagne d'échantillonnage dans la zone d'étude.....	36
Tableau 12: Norme de potabilité de l'eau	37
Tableau 13: Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (l'Ouvrier, 1976).	38
Tableau 14: Les longueurs d'ordres des cours d'eau dans le bassin versant de la Mafragh	42
Tableau 15: Synthèse d'évolution de surfaces au cours de la période d'étude	43
Tableau 16: les variations des surfaces d'eau entre le mois d'avril et septembre.	43
Tableau n° 17 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux superficielles du bassin versant de la mafragh de deux dates (septembre et avril).....	45
Tableau 18: formule ionique et faciès chimique des eaux d'Avril 2016	52
Tableau 19: formule ionique et faciès chimique des eaux de septembre 2016.....	53

Liste des figures

Figure 1 : carte de la situation géographique du bassin versant de la Mafragh.....	3
Figure 2: Carte topographique du bassin versant de la Mafrage	5
Figure 3: Carte altimétrique du bassin versant la Mafragh.....	10
Figure 4: la carte géologique du bassin versant de la mafragh	11
Figure 5: Coupe hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja.....	17
Figure 7: Coupe hydrogéologique dans la plaine de Bouteldja (Energ	19
Figure 8: coupe hydrogéologique de la plaine d'El Tarf.....	19
Figure 9: coupe schématique du système aquifère d'Annaba la Mafragh.....	20
Figure 11: Variations mensuelles des précipitations à la station d'Ain Assel.....	23
Figure 12: variations des précipitations moyennes annuelles de la station d'Ain Assel	24
Figure 13: variations mensuelles des températures à la station d'Ain Assel (1996-2013).....	25
Figure 14: variations mensuelles de l'humidité de l'air à la station d'Elkala (1983-2005).....	26
Figure 15: Variations mensuelles de la vitesse des vents à la station d'El Kala (1984-2005)	26
Figure 16: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite (Station d'Ain Assel 1996– 2013)	28
Figure 17: illustration de la chaine de géotraitements pour la délimitation du bassin versant	31
Figure 18: Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrologique	32
Figure 19: Organigramme du processus général de traitements des images Landsat8.....	33
Figure 20: Carte de la répartition des échantillons dans la zone d'étude	36
Figure 21: Carte des pentes	40
Figure 22: Carte de réseau hydrographique.....	41
Figure 23: Carte d'évolution des zones humides (mois d'avril).....	44
Figure 24: Carte d'évolution des zones humides (mois de septembre).....	44
Figure 25: Variations spatiotemporelle du PH	46
Figure 26: Variations spatiotemporelle de la conductivité électrique.	47
Figure 27: Variations spatiotemporelle de température.....	47
Figure 28: Variations spatiotemporelle de l'oxygène dessous	48
Figure 29: Diagramme de l'évolution des cations au mois d'avril.....	49
Figure 30: diagramme de l'évolution des cations au mois de septembre	49
Figure 31: diagramme de l'évolution des anions au mois d'avril.....	50
Figure 32: diagramme de l'évolution des anions au mois de septembre	50
Figure 33: Diagramme d'évolution de NO_3^-	51
Figure 34: Diagramme d'évolution de PO_4^{3-}	52
Figure 35: Faciès chimique du mois d'avril	54
Figure 36: Faciès chimique du mois de septembre.....	54
Figure 37: Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Riverside, mois d'avril)	55

Figure 38: Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Riverside, moi de septembre)	55
Figure 39: variation de l'indice de saturation (mois d'avril)	56
Figure 40: variation de l'indice de saturation (mois de septembre)	56

Introduction générale

Introduction générale

Les ressources en eaux de surface et souterraines sont l'une des richesses capitales du pays. L'eau reste une ressource limitée et vulnérable qui est indispensable à la vie, au développement et à l'environnement. Sa protection et sa bonne gestion sont donc une nécessité. Le bassin versant de la Mafragh faisant partie de l'un des plus importants bassins hydrographiques de l'Algérie (bassin versant des côtières Constantinois-Est), le bassin versant de la Mafragh représente un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles et souterraines par son apport moyen annuel important et ce malgré la variabilité pluviométrique d'une année à une autre.

Dans cet espace, l'eau représente le facteur moteur du développement industriel, touristique, agricole, urbain et rural de la région, nécessitant sa mobilisation en quantités énormes.

La quantité et la qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture d'une part ainsi l'exploitation désordonnée des ressources en eau d'autre part. Ces dernières ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

Notre zone d'étude Le bassin versant de la Mafragh est riche en zones humides (*lacs d'eau douce*, des *marais*, des *plaines d'inondation*, les *barrages* ...). Ces zones humides sont définies comme des espaces de transition entre la terre et l'eau, elles écrètent les crues et régulent les débits des fleuves. Ce n'est donc pas par hasard si ces territoires ont été très tôt colonisés par les hommes, et ont fait l'objet au fil du temps de transformations et d'aménagements responsables de la disparition de plus de la moitié des zones humides sur l'ensemble de la planète (Finlayson et al. 1992, Paerce et Crivelli, 1994 ; Hecker et Vives, 1995 ; Skinner et Zalewski, 1995). (gherzouli chahrazed 2013). L'accélération de cette dégradation au cours du XX^e siècle a alerté et conduit des associations de protection de la nature à se mobiliser et à insister sur l'intérêt de conserver la richesse biologique de ces territoires.

En effet, ces ressources sont peu utilisées puisque sur un volume de 836 Hm³/an, seule une quantité assez limitée est emmagasinée par les barrages et quelque retenue collinaire, et le reste du volume s'écoule vers la mer.

L'objectif de ce travail est l'étude des changements des états de surface d'eau, ainsi de leur qualité pour connaître l'évolution saisonnière et les facteurs influant sur cette zone.

Par cette étude et afin d'arriver à notre objectif, nous avons développé les étapes suivantes :

⇒ Au cours du premier chapitre, nous nous proposons de présenter les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre général de notre région d'étude (situation

géographique, étude socio-économique, description des caractéristiques géomorphologique, aperçu géologique, hydrogéologique et hydro climatologique).

- ⇒ Le deuxième chapitre, nous présentons les différents matériels et les méthodes de traitements sur les images satellitaires, et aussi nous présentons les conditions et les modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse des échantillons ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats.
- ⇒ Le troisième chapitre, est consacré à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus, et les autres traitements multi spectrale des images satellitaires.

Une interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux des zones d'études pour avoir la qualité et les faciès chimiques de ces eaux avec l'interprétation des résultats des différentes analyses effectuées.

- ⇒ Et enfin une conclusion générale synthétise les résultats de cette étude.

Chapitre I :
Description de la
zone d'étude

Chapitre I : Description de la zone d'étude

I : Situation géographique du bassin versant de la Mafragh :

Le bassin versant de la Mafragh est situé à l'extrême Nord Est Algérien, Selon les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques, il est inclus dans le bassin versant des côtières Constantinois-Est et codifié sous le numéro 03 (Fig. 1) et s'étend de 7°45 à 8°45 de longitude Est et de 36°20 à 36° 55 de latitude Nord.

Notre terrain d'étude est limité :

- ❖ Au Nord par le massif dunaire de Boutheldja formant obstacle naturel avec la mer Méditerranée;
- ❖ Au Sud par le bassin de Medjerdah;
- ❖ A l'Est par le bassin des côtières de la Calle et les frontières Tunisiennes;
- ❖ A l'Ouest par le bassin de la Seybouse.

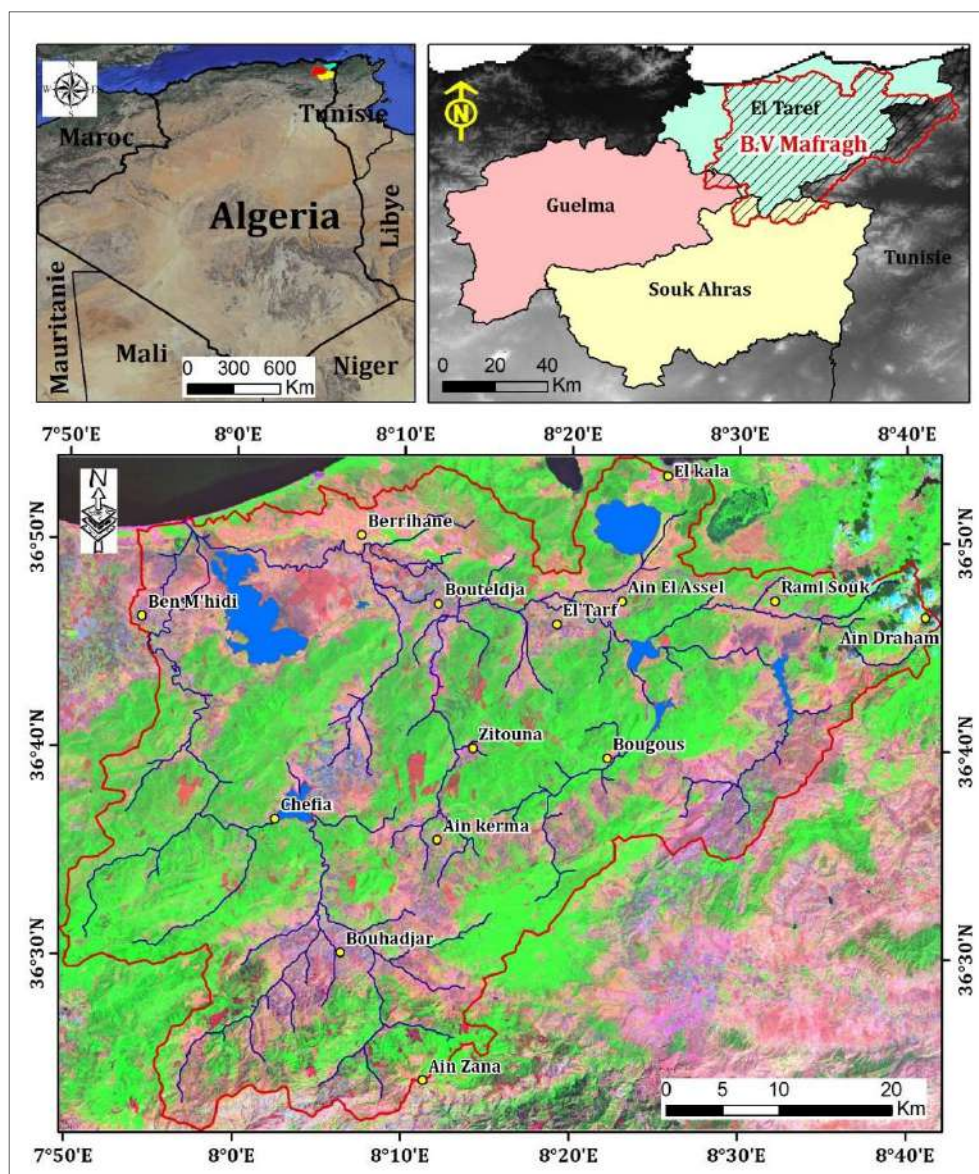


Figure 1 : carte de la situation géographique du bassin versant de la Mafragh

Il est drainé par deux oueds importants :

- ❖ L'Oued Bounamoussa à l'ouest.
- ❖ L'Oued El Kebir-Est à l'Est.

Ces deux cours d'eau rejoignent la mer par un exutoire unique : **L'Oued Mafragh.**

Le bassin versant de la Mafragh couvre une surface de 2635.26 Km², soit 70.30% de la superficie totale du côtière Constantinois-Est. Il est entièrement représenté sur les cartes topographiques de Bône et de Souk Ahras au 1/200.000. Par ailleurs, sa couverture topographique au 1/50.000 est constituée de six feuilles. Il s'agit de :

Annaba (Bône), Dréan (Mondovie), Boutheldja (Blandan), Ain El-karma (Munier), Bouhadjar (Lamy) et enfin El-Kala (La Calle).

II : Aperçu socio-économique :

Le Parc National D'El-Kala s'étend sur une superficie 78000 Ha soit 26% de la surface de la wilaya d'El-Tarf. Ses écosystèmes très variés le classe parmi les sites mondialement protégés. Il renferme des espèces Endémiques dont quelques-uns sont en voie de disparition. On peut citer à titre d'exemple le cerf de barbarie, la Yenne tachetée et le chacal doré. 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 limites géographiques du parc englobent neuf communes dont six sont entièrement situées à l'intérieur de cet espace naturel. 120 000 habitants y vivent sur ce territoire.

Cette pression humaine sur les espaces faunistiques et floristique le rend très vulnérable. Elle a engendré une urbanisation de plus en plus élevée et l'arrivée de cohortes de population jeunes très importantes (plus de 55% de la population actuelle) va encore accentuer la fragilité de ce milieu par la création de nouvelles activités et l'occupation des nouveaux espaces de plus en plus importants.

Les ressources économiques présentent sur l'espace du parc montre que l'agriculture, le tourisme et la pêche demeurent les principales activités génératrices de valeur ajoutée pour la région. Cependant, leur organisation dans l'espace et le temps laisse apparaître une certaine anarchie nocive pour ce milieu naturel, en l'occurrence un surpâturage, la pêche non contrôlée, un tourisme balnéaire non régulé et beaucoup d'activités informelles.

Pour appréhender la situation socio-économique de la région du parc national d'El- Kala et voir les interactions milieu naturel, population et activités économiques nous procéderons à la description et l'évaluation des potentialités existantes particulièrement le tourisme et la pêche.

III : Topographie et Energie du Relief :

1 : Topographique et Morphologie du Bassin Versant

Les montagnes telliennes de l'Est Algérien se présentent comme un bourrelet longeant et dominant la mer méditerranée depuis Bejaïa jusqu'à la frontière Tunisienne. Le Tell Oriental se subdivise en

plusieurs ensembles topographiques présentant chacun des caractères et des problèmes géomorphologiques propres, de l'Ouest vers l'Est, cette région décroît en altitude.

La région du bassin versant de la Mafragh, qui fait la terminaison Est de ces montagnes, présente des unités topographiques et morphologiques, qui peuvent être décrites comme suit (Fig. 2) :

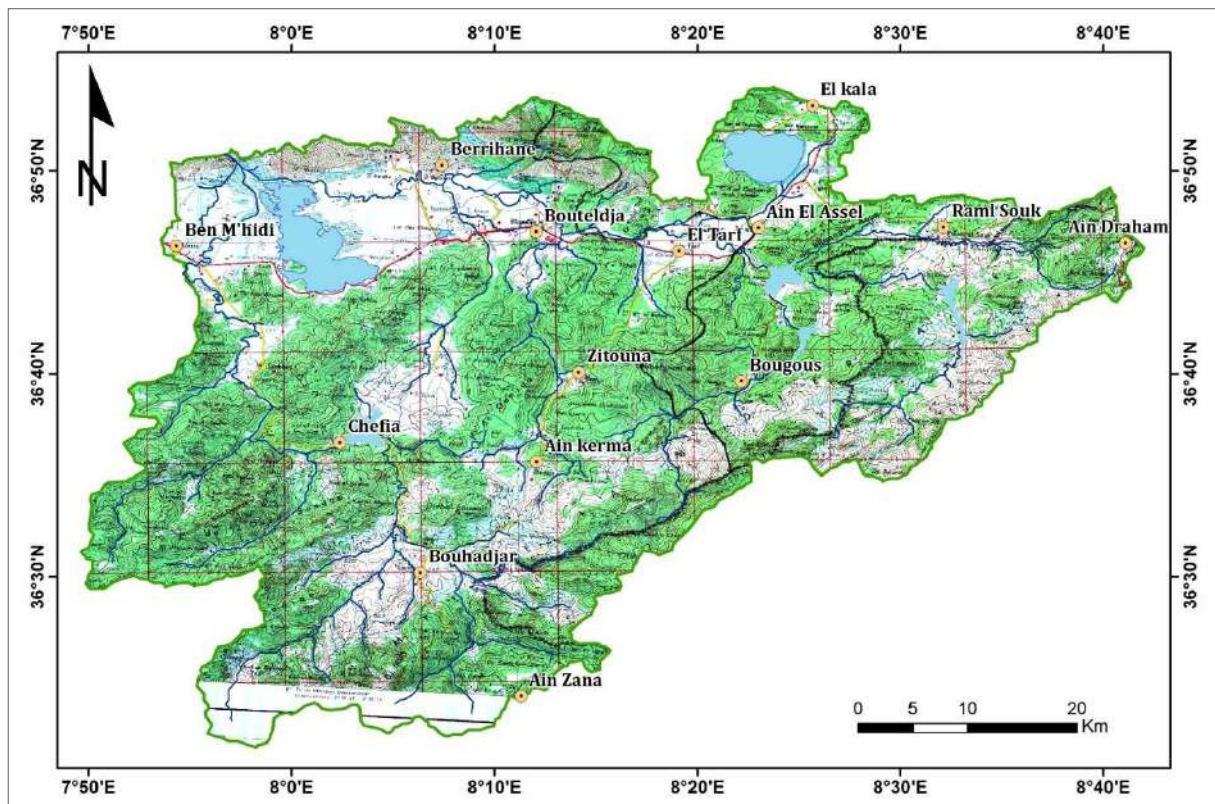


Figure 2: Carte topographique du bassin versant de la Mafragh (extrait de la feuille n°R-S-1-2, Bône 1/200000)

1.1 : Les Plaines Littorales

1.1.1 : La Plaine de Boutheldja (basse vallée du Kébir-Est)

Tout à l'Est, la plaine de Boutheldja correspond à la basse vallée de l'Oued Kebir-Bougous. Occupée sur ses bordures par des étangs marécageux (Lac des Oiseaux, Région de Righia), elle est légèrement bombée de part et d'autre de l'oued.

a : Les Bordures de la Plaine d'Annaba (Basse vallée de la Mafragh)

La terminaison extrême Nord-Est de la grande plaine d'Annaba s'organise autour de Garaat M'Khada où convergent les Oueds El Kebir, Bou Namoussa et Bouhllalah donnant naissance à L'Oued Mafragh avant de se jeter dans la Méditerranée.

La partie Est de la grande plaine de Annaba correspond au bassin du secteur aval de la Mafragh ; en réalité, cette partie est couverte de Garaas, au milieu desquelles serpentent des «kheldijs» (Kheldij Eesseba, Khelidj en Nakhla, Khelidj Eddib). Ces «kheldijs», qui sont des faux bras de rivières où l'eau ne coule parfois que par intermittence et dont le réseau est largement anastomosé (Joleaud, 1936), révèlent l'absence de toutes les lignes directrice dans l'hydrographie locale : des côtes de 1 m

sont relevés entre Oued Chourka et l'Ouest de Oued Bounamoussa à 5 km de la mer. Par contre, des côtes de 2m sont relevées entre oued Chourka et Oued Kebir-Est, et qui sont les points les plus bas de la plaine d'Annaba. A l'Ouest, la Plaine de Ben M'hidi, qui fait partie de la grande plaine d'Annaba, est la plus basse, avec des points de côte de 5m de hauteur.

b : Garaat El M'Khada :

En grande partie temporaire, Garaat El M'Khada est un marais profond de 0.4 à 1m durant la période des hautes eaux. Lors de son assèchement, et même quand la nappe d'eau émerge, elle est utilisée comme terre de pacage par les riverains (photo n°01). Du fait de l'influence directe de la méditerranée qui se propage à l'intérieur de ces terres, des tamarins couvrent une partie de la région et les poissons marins arrivent durant cette saison dans la nappe d'eau comme (les Aloses et les Muges). Vers le Nord, l'altitude des collines qui surplombe Garaat El-Mkhada atteint les 356 m à Djebel Bou-Kerma.



Photo. 1 : Paturage dans garaat M'khada (Affoun, 2006)

1.2 : Les Bassins Intérieurs :

Trois types de bassins internes peuvent être distingués : des bassins montagnards, un bassin de plaine et des bassins littoraux occupés par des lacs.

1.2.1 : Les Bassins Montagnards :

Ces bassins, à caractère montagnard, sont des fenêtres qui ont été creusées dans la nappe des grés numidiens, des failles normales ont conditionnées la localisation et les limites des bassins

a : Le Bassin de la Cheffia :

Creusé dans des roches tendres, il présente deux parties avec au centre une ligne de hauteur qui joue le rôle de ligne de partage des eaux. La partie méridionale, occupée par le Lac du Barrage de la Cheffia (570 ha), est drainée par l'Oued Bounamoussa. La partie septentrionale, drainée par Oued Cheffia, présente une topographie de glacis. L'ensemble est dominé, sur toutes ses bordures, par des

escarpements gréseux. Le bassin est drainé par Oued Cheffia qui rejoint Oued Boulathane par des gorges vers le Nord.

b: Le Bassin d'Ain el Karma :

Ce bassin est drainé par l'Oued Yabous et Chaabet Rebiha avant de former Oued Zitouna vers le Nord. Il est caractérisé par une topographie morcelée où les altitudes varient. Elles sont de 1041m à Djebel Dir vers le Sud-Est, pour atteindre les 349m à Kef Ain Loulidja. En son centre, un promontoire « Cap » porte le nom de Bourdj Ain El Karma « Mechtaat Meradia Fougouania ».

c : Le bassin de Bouhadjar :

Il est caractérisé par une topographie plus accidentée où les altitudes atteignent les 808m à Djebel Souani, 1406m à Djebel M'Sid, 1015m à Kef El Boum et 740m à Draa Safsaf. Il est drainé par deux oueds importants : Oued Bouhadjar et Oued El Kebir. Ce bassin constitue la zone d'alimentation du barrage de la Cheffia qui se situe au nord de ce dernier.

1.2.2 : Le Bassin des Plaines :

Au Nord-Est, le bassin d'El Tarf -Ain Assel est une véritable plaine interne. L'altitude du fond plat varie de 2 à 28 m, et est parcourue par l'amont d'Oued El Kebir. Au Nord, le Lac Oubëira qui occupe une dépression prolonge cette plaine. Plus au Sud l'ensemble du bassin est dominé par des escarpements gréseux qui le ceinturent complètement. Des vallées étroites drainent ce bassin avant de rejoindre Oued Kebir qui met en communication le bassin d'El Tarf avec la plaine de Boutheldja vers l'Ouest par un couloir étroit.

1.2.3 : Les Bassins Littoraux :

Les crêtes de la ligne de partage des eaux au nord de l'Oued El-Kebir et qui sépare le bassin versant de la Mafragh des côtières de La Calle sont caractérisées par des altitudes basses allant d'Ouest vers l'Est de 177m à Djebel Bourdim à 156m à Djebel Hdjar Siah pour atteindre les 254m dans l'extrême Est à la limite Algéro-Tunisienne (Kef Maatallah).

Ces bassins littoraux font la limite Nord-Nord-Est de notre région d'étude et c'est dans la région d'El Kala (La Calle) que se localisent les bassins littoraux. Ces trois bassins sont occupés par des lacs : le Lac Melah qui est en relation avec la mer par un grau, le Lac Oubëira à 2m d'altitude et le lac Tonga à 2-3m d'altitude. Ce dernier, drainé incomplètement vers la Baie de la Messida, prend aujourd'hui l'aspect de plaines très humides surtout durant les années sèches. Vu son importance hydrologique, le Lac Oubeïra peut être inclus comme unité du système hydrologique de la Mafragh et un aperçu pour éclaircir cette relation particulière s'avère nécessaire.

a : Lac Oubeïra :

Le lac Oubeïra est situé à la côte 25 m. Il est occupé par de l'eau douce et alimenté essentiellement par les oueds Messida et Bouhachicha au Sud et Oued Legraa au Nord. Ce lac est séparé du Lac Melah par un seuil de 44m de hauteur. Lors des averses d'hiver (période des hautes eaux) les eaux de

l'Oued El Kebir s'écoulent vers le lac. En été, le système hydrologique fonctionne en sens inverse. C'est l'Oued Messida qui a la particularité de s'écouler alternativement dans les deux sens à la recherche d'un équilibre hydrologique naturel. Donc, ce lac est alimenté principalement par l'Oued Messida qui a creusé un petit estuaire au Sud-Est de la Garaa, qui reste à sec en été et qui reçoit en hiver une importante masse d'eau venant des marécages de l'Ouest de Ain El Assel. Ces marais, lors des grosses pluies sont aussi en communication directe avec Oued El- Kebir qui se jette à la mer sous le nom de la Mafragh, après avoir traversé les Garaas de la grande plaine d'Annaba et les dunes littorales voisines. C'est par cette voie que les poissons migrateurs du lacs (Anguilles, Muges, Aloses) effectuent leurs déplacements périodiques, lors des crues, où le courant de l'Oued Messida vers le lac est fort violent.

Par contre, quand le niveau du lac est très haut et que les pluies cessent (période des basses eaux), l'affluent devient émissaire et une partie des eaux du lac retournent aux marais d'où elles étaient venues. Les Muges et les Aloses sont alors prisonniers. Il ne semble pas en tous cas que les poissons proprement marins tels que les Loups ou Bars, qui pénètrent fréquemment dans les Khelidjs de la grande plaine de Annaba atteignent normalement le lac Oubeïra (Joleaud, 1936)

Enfin, les eaux de Garaat el Ouez s'écoulent régulièrement en partie vers le Nord dans le Lac Melah par Oued el Aroug et en partie vers le Sud dans l'Oued el Kébir par Chaabet Damet El Lil qui rejoint Chaabet El Khalidj, avant de rejoindre Oued El Kebir. Ainsi donc, la ligne de partage des eaux de cette zone du versant nord du bassin d'El Tarf, n'occupe pas une position géographique immuable.

1.3 : Les Basses Montagnes :

1.3.1 : Les Basses Montagnes des Monts de la Cheffia :

Une première barrière topographique constitue la limite Sud de l'aval du bassin de la Mafragh où l'altitude s'élève à 569m à Bougloub, pour atteindre les 739m à Djebel Bou-Abed, puis s'abaisse à 367m à Kef Medina. Il s'agit là d'une série de basses montagnes des monts de la Cheffia.

1.4 : Les Hautes Montagnes (Djebels) :

1.4.1 : Les Monts de la Cheffia :

Parallèlement à la chaîne des Monts de la Medjerda, les Monts de la Cheffia constituent une deuxième barrière topographique, mais plus modérée, d'orientation SW-NE où l'altitude varie entre 996m à Bled Djemaat El Guerfi (Forêt de l'Oued Soudan), en allant vers le NE et 808 m à Djebel Souani, 659m à Djebel Oum Ali et 463m à Ras El Ourda. Elle est de l'ordre de 396m à Kef Rhorf Dbeïa et ne dépasse pas les 179 m à Kef El M'kouz.

1.4.2 : Les Monts de la Calle (El Kala) :

Les monts de la Calle font la continuité des Monts de la Cheffia à travers une zone de reliefs, sans lignes directrices bien marquées, découpés par les quatre vallées transversales (SSO-NNE), des oueds Cheffia, Bouhalloufa, Guergour et Bougous, tous tributaires de l'Oued El Kebir (haute Mafragh).

1.4.3 : Les Monts de la Medjerdah :

Le long de la frontière algéro-tunisienne, les Monts de la Medjerda constituent une barrière topographique d'orientation SW-NE dont le point le plus élevé culmine à 1406m (Djebel M'Sid). L'altitude s'abaisse progressivement vers le Nord-Est pour atteindre 1041m à Djebel Dir, 1202 m à Kef Rokba « Ghorrat el Hammam » et 821m à Kef Mzaza.

La ligne topographique de la Medjerda est la troisième barrière topographique qui longe le bassin versant dans sa partie sud. Elle porte des escarpements rocheux et son versant nord (Algérien) en pente forte, a un commandement de 500m et plus. En revanche, Kef Rokba domine une topographie plane qui s'élève de 450 à 500m sur l'ensemble des massifs de cette région. Elle recoupe les sommets des chaînons de direction SW-NE et crée à certains endroits de véritables plateaux comme celui où s'implante la forêt d'Ouerda. Cette topographie sommitale peut être suivie depuis les Monts de la Medjerda jusqu'au-dessus de la plaine d'Annaba et de la Mer méditerranée à El Kala. Elle s'incline régulièrement de 450-500m à 170-180m au Nord. Cependant, par endroits, elle reste dominée par des massifs comme le Djebel Oum Ali (659m) et Souani (808m). De plus, c'est dans cette topographie que les cours d'eau comme l'Oued Bougous, s'est encaissé. Il se crée alors toute une série de bassins internes parcourus par le réseau hydrographique.

1.5 : Le Cordon Dunaire :

Vers le nord, le massif dunaire constitue la limite nord du bassin versant de la Mafragh. Le long du littoral, un gros cordon dunaire s'étend depuis l'embouchure de la Seybouse jusqu'au Cap Rosa. Peu large et peu épais à l'Ouest, il se développe vers l'est où il atteint 120m d'altitude et 7 à 8 km de large. Il constitue aussi une véritable barrière entre la plaine intérieure et la mer, ce qui gêne le drainage. Seul l'Oued Mafragh est capable de la traverser, bien qu'il soit souvent obstrué en hiver. Des séries de ligne de dunes isolent la grande plaine de Annaba de la méditerranée. Leur point culminant (89m) se trouve à 1300 m de la mer. Ainsi l'ensemble de la région dunaire dessine une pente plus raide vers la méditerranée que vers l'intérieur des terres. L'aire occupée par les dunes finit sur la mer par un abrupt de 40m de haut à l'ouest de l'embouchure de la Mafragh. Vers l'Est, le réseau de dune se développe largement dans la zone du Cap Rosa allant d'une largeur de 1,5km du côté Est de la Mafragh à 15 km vers El Tarf. Le massif dunaire est d'une longueur de 25km depuis la Mafragh jusqu'à El Tarf.

2 : Formes de Relief Marqués par des Tranches d'Altitudes :

La carte altimétrique donne plus de détails sur la morphologie du bassin versant. En effet la Figure 3 de la répartition altimétrique nous permet de dégager les formes du relief les plus caractéristiques du bassin versant et leurs altitudes. On distingue 04 tranches d'altitude :

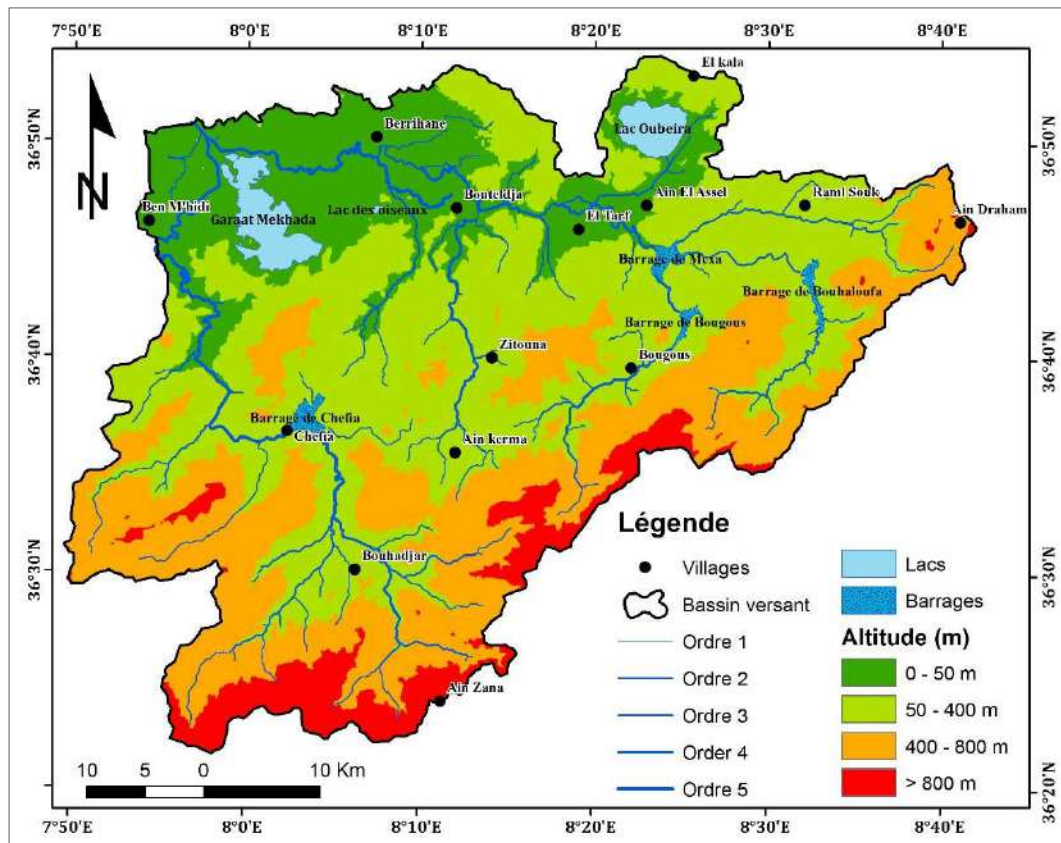


Figure 3: Carte altimétrique du bassin versant la Mafragh

2.1 : Plaines et épandages de 0 à 50 m :

Les plaines s'étalent d'Est en Ouest sur 1100 Km² d'une altitude inférieure à 10 m et atteignant les 50m. L'épandage forme la zone de contact entre la plaine et les versants où s'étalent les alluvions des cours d'eau formant alors des plaines d'épandages.

2.2 : Les Versants:

Ils apparaissent dans une tranche d'altitude allant de 50 à 400 m, comme dans les basses collines des Monts de la Cheffia qui entourent les bassins intérieurs de Bouhadjar, Cheffia, Ain Karma et Asfour, ainsi que dans la région de Bougous au niveau de Djebel Oum Ali, et occupent le centre du bassin versant.

2.3 : Les Collines :

Elles sont représentées sur la carte par la tranche d'altitude de 400-800m. Elles apparaissent sur les limites Ouest du Bassin versant sur Kef-el-Ouach, Kef el Ramoul et Kef Mzaza sur les frontières Algéro-Tunisiennes. Elles constituent les crêtes de la ligne de partage des eaux de l'Ouest vers l'Est.

2.4 : Les montagnes :

D'une altitude variant de 800 jusqu'à 1406 m, elles sont représentées par Kef el Boum, Kef Rekeb à l'Ouest et Djebel Dir, Djebel El Ghorra à l'Est. Elles représentent les crêtes de la ligne de partage des eaux du bassin versant dans sa partie Sud.

IV. Etude Géologique :

1. Formations Géologiques en Faveur du Réservoir Aquifère du Bassin Versant :

Pour l'étude géologique, nous nous sommes appuyés sur des études antérieures, notamment celles de J. M. Villa en 1980 et A. Marre en 1987, qui décrivent notre terrain d'étude de la manière qui suit :

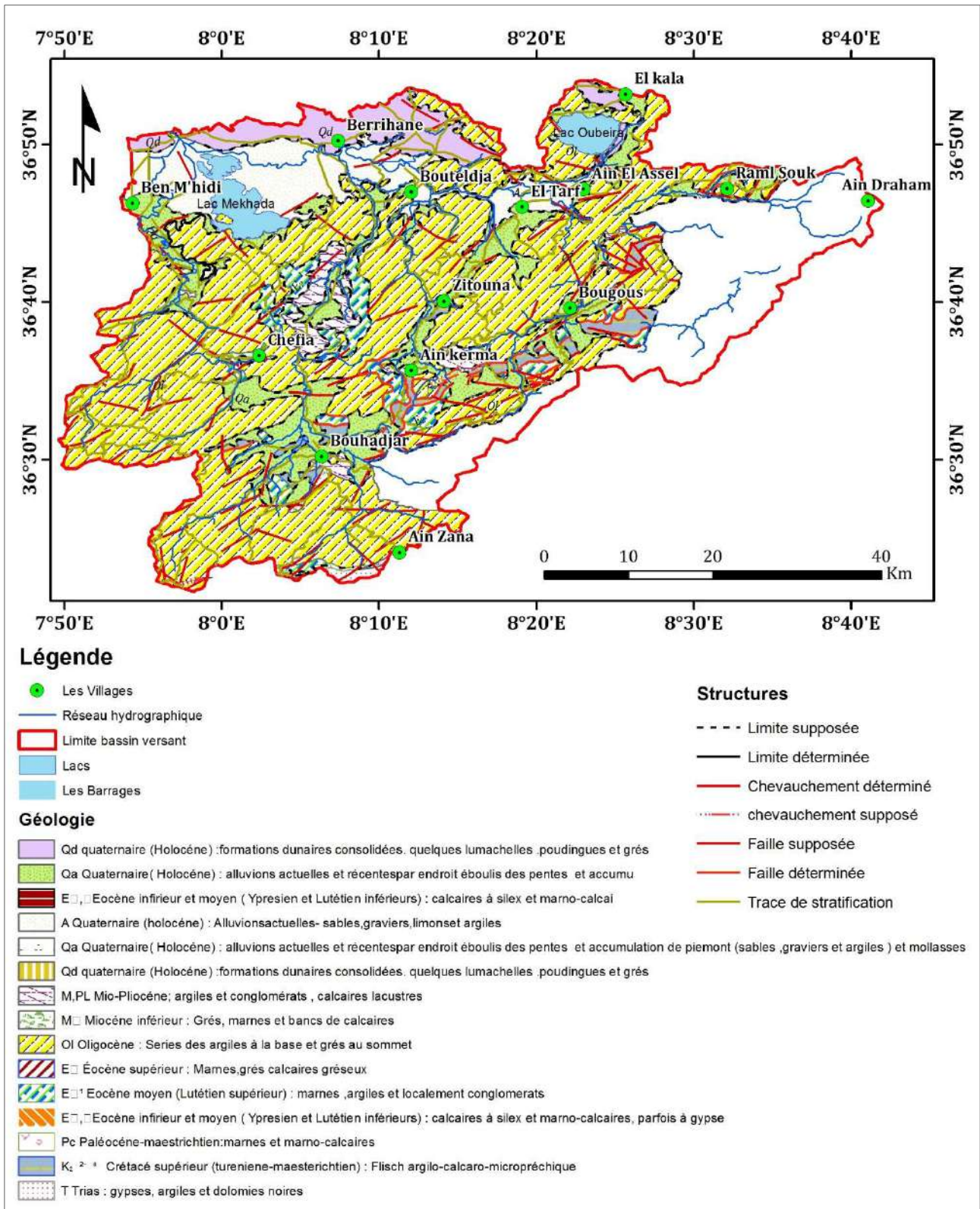


Figure 4: la carte géologique du bassin versant de la mafragh (ANRH 2008 modifiée)

Des formations antérieures à la mise en place des nappes (le Numidien, Le Tellien) et des formations post-nappes (les formations récentes). (Marre. A, 1987)

Toutes ces unités constituent des alternances de terrains d'origine diverses du fait du charriage de ces masses de terrain, parfois sur de très grandes distances. Les formations qui les constituent sont complètement disloquées, d'où la complexité des traits tectoniques. Ces formations sont principalement d'âge tertiaire et quaternaire. (Fig. 4).

1.1 : Les Formations Post-Nappes :

1.1.1 : La Plaine d'Annaba/Boutheldja :

Depuis la fin du Tertiaire, la plaine d'Annaba correspond à un bassin d'effondrement (Graben) dans lequel subsistent quelques petits Horsts qui forment aujourd'hui les massifs gréseux du centre de la plaine (Denden et Daghousa). La plaine d'Annaba est constituée essentiellement par des formations d'âge Mio-Pliocène et quaternaire, représentées par les faciès suivant :

a- Faciès marin : plus ancien, caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires.

b- Faciès fluvial : bien développé, formé de galets, de sable, d'argile le long des oueds.

c- Faciès continental : il est lié aux dépôts des fosses d'effondrement. Ces derniers sont déterminés par la prospection sismique, et séparées par l'élévation de Daghousa. Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. L'histoire de la Plaine d'Annaba remonte probablement au début du Miocène Supérieur qui coïncide avec la régression de la Mer Miocène vers le Nord. Ce changement de niveau de base local a accentué la torrentialité, favorisant un charriage important des matériaux vers le paléorivage et le remplissage des fosses de la plaine. La géométrie des fosses a largement conditionné le remplissage par les apports de conglomérats. A mesure que le remplissage s'accroît, la vitesse de la subsidence augmente, donc épaissement de la partie médiane, et amincissement sur les bords. En effet, cette subsidence est confirmée à la surface par l'absence totale de niveau de terrasse dans la plaine. Cependant, des terrasses témoins sont restées perchées aux pieds des massifs gréseux dominant la plaine.

A : Remplissage Plio-Quaternaire :

a : Pliocène

Au pliocène débute le retrait de la mer et le soulèvement probable de l'arrière-pays Annabi. Ceci s'est traduit par un abaissement des niveaux de base locaux qui a certainement accentué la torrentialité des oueds, tributaire de la Méditerranée. (Joleaud, 1936)

b : Fin du Pliocène

A la fin du Pliocène, il semble que la morphogenèse est restée très active sur le continent. La plaine voyait s'accumuler des masses de matériaux très importants. Cette sédimentation, beaucoup plus irrégulière, discontinue en épaisseur, donne des variations latérales et verticales de faciès extrêmement rapide.

Il est probable que la subsidence accélérée de la plaine a contribué aux changements brutaux des matériaux charriés. En effet, il est vraisemblable que la Seybouse coulait autrefois vers le Nord-Est suivant l'axe de la dépression de Ben Mhidi et participait à son remplissage par les conglomérats. La subsidence beaucoup plus accélérée de la fosse de Ben Ahmed d'orientation Nord-Sud a abouti à sa capture. L'observation de la carte topographique montre que le tronçon de la Seybouse situé dans le prolongement de la dépression de Ben Mhidi est constitué d'une série de méandres. En quittant cette zone de perturbation l'oued montre un tracé rectiligne malgré la proximité de l'embouchure.

c : Remplissage Quaternaire :

La subsidence de la plaine, toujours active, a empêché les oueds de s'encaisser et de dégager des terrasses qui nous permettent de suivre l'évolution morphologique de la plaine pendant le quaternaire. Il est cependant clair que cette plaine a connu une alternance de périodes humides caractérisées essentiellement par la multiplication des lacs où se décantent des sédiments argilo-limoneux de couleur rouge-grisâtre et des périodes sèches caractérisées par une déflation importante qui a comblé ces dépressions asséchées. Il en résulte des lentilles alimentées par le vent et réparties selon la topographie héritée de la période humide. C'est cette alternance des épisodes pluvieux et des inter-pluvieux, qui a déterminé la variation du niveau de la mer, et qui est certainement à l'origine de l'avancée de la mer sous forme de rias et de lagunes, d'où des épaisseurs assez importantes de sable, qui apparaissent dans certains forages et qui renferme la nappe phréatique de la plaine.

1.1.2 : La formation des dunes :

Cependant, les dépôts du massif dunaire résultent de l'érosion des paléo-reliefs argilo-gréseux et gneissique, qui ont été ravinés par les cours d'eaux, conduisant une grande quantité de matériels détritiques vers la mer. Le sable, roche détritique, provient du dé lapidification des grés numidiens. Il est blanc ou jaune clair, fin, meuble, et renfermant une proportion d'argile qui augmente en profondeur.

La formation de ces dunes de sable a été effectuée en deux cycles de régression et transgression marines. (Nouacer, 1993).

Le premier cycle (régression), a donné des dunes anciennes qui ont été lithifiées en bordure de la mer. C'est dans cette formation que les paléo talwegs se creusaient en conservant jusqu' aujourd'hui l'allure qu'ils avaient, avant la mise en place des sables.

Le second cycle (transgression), moins remarquable, a abouti à la formation des dunes récentes et actuelles suivi par une phase d'érosion aboutissant aux éboulis récents provenant des massifs numidiens. Par la suite, ces dunes ont été fixées par une végétation jusqu'à ce qu'elles deviennent inactivés.

1.1.3 : Les Eboulis de Pente :

Tous les versants des vallées des Monts de la Cheffia portent des coulées qui sont souvent le résultat d'un important déséquilibre (Marre, 1987). La tendance au déséquilibre a existé pendant tout le quaternaire où les versants furent toujours favorables aux glissements et aux coulées, d'autant plus que les conditions climatiques étaient particulièrement froides et humides. Après l'important creusement que les cours d'eau ont réalisé en sapant la base des versants, la pente s'accélère alors et la force de la pesanteur est plus forte que les forces de cohésion des roches. Des dépôts d'éboulis tapissent leurs cicatrices de départ permettent de les situer dans le temps au début de la dernière période froide du Quaternaire. (Marre, 1987). C'est cette humidité qui est responsable des altérations, du colluvionnement, et aussi des coulées des versants. Les versants dominés par les abrupts sont recouvertes d'éboulis de pente et de colluvions ; ces derniers proviennent de la dégradation des escarpements gréseux et du remaniement des formations d'argiles sous-numidiennes.

1.2 : Les formations Anti-nappes : Ensemble des unités allochtones (flyschs et Nappes) :

L'orientation NE –SW est le trait structural dominant des formations anti-nappes. Ce sont des formations géologiques sédimentaires dont on note :

1.2.1 : Nappe numidienne (Argiles sous-numidiennes) :

Le terme numidien est actuellement conservé en tant qu'appellation de faciès. Il désigne la série grés-argileuse principalement Oligocène. Cette formation est largement représentée dans notre région d'étude. Elles affleurent à la base de la majeure partie des Monts de la Cheffia, au Sud-Est de Boutheldja (Djebel Hdjar Siah, Bourdim). Ces formations limitent les alluvions de l'Oued Bougous à l'Est et l'Oued Guergour à l'Ouest. Ces faciès affleurent généralement dans la zone d'Ain Assel. Ils ne sont pas visibles sur le terrain à part quelques petits affleurements, car la végétation les recouvre.

a : Les Grés Numidiens :

Ce sont des grés quartzeux plus au moins consolidés de couleur rouge à jaunâtre due à la présence de grains de sables et de fer. Souvent, ces bancs de grés sont lenticulaires passant latéralement aux argiles d'âges Aquitaniens. L'Aquitaniens présente une intense fracturation, ce qui favorise la circulation des eaux souterraines. Cette formation affleure dans toute la région constituant les bordures des plaines et le substratum des formations alluvionnaires sur les deux rives de l'Oued Kébir. On les rencontre également au Sud des Monts de la Cheffia.

b : Les Argiles Supra-Numidiennes :

Elles représentent la partie supérieure de la série numidienne d'âge Burdigalien qui se trouve souvent en alternance avec les grés sous-jacents. On peut les rencontrer souvent dans les Monts de la Cheffia.

1.2.2 : Les Flyschs Massyliens :

Ce terme a été proposé par Raoult (RAOULT, 1974) au Nord du Kef Sidi Driss (Constantine) pour une série allant du Néocomien au Lutétien. Découvert en 1946 dans les Monts de la Cheffia par (MARIE et LAMBERT), On les rencontre à plusieurs endroits dans les Monts de la Cheffia en série monotone. Ils sont constitués essentiellement par les marnes feuilletées avec de minces bancs de calcaires ou en épaisses séries d'argiles grés, comportant des intercalations de plaquettes gréseuses. L'âge du flysch est essentiellement Sénonien, mais le terme plus général de flysch à micro-brèches est retenu puisque cette formation pourrait ne pas se limiter au Sénonien. En effet, certains niveaux sont datés du Lutétien et appartiennent à cette formation.

a : Les Flysch à Micro-Brèches :

Les flysch à micro-brèches affleurent de part et d'autre de l'oued Cheffia en série monotone de marnes feuilletées et de minces bancs de calcaires brun-roux. Aussi, dans les études géologiques de l'emplacement du barrage de Cheffia et qui ont été effectuées par Moussu (1954), ils sont décrits comme une série continue comprenant le Campanien-Maestrichtien, le Paléocène, l'Eocène Inférieur et Supérieur et l'Oligocène.

1.2.3 : Le Tellien :

Il se caractérise par une puissante série marneuse s'étendant du Crétacé inférieur au Lutétien inférieur, au milieu de laquelle s'intercale l'unité caractéristique des calcaires noirs fétides datés (Yprésien-Lutétien Inférieur). Ces calcaires noirs fétides ont un faciès classique et sont largement répandus en Algérie du Nord. Il s'agit d'un calcaire en bancs réguliers de 0,5 à 1m, compacts argileux, comportant de minces lits marneux. L'épaisseur de cette unité est difficile à estimer et peut être de l'ordre de 100m. Cette formation est très spectaculaire à Sidi Trad (Sud-Est de Zitouna). On la rencontre aussi à Bouhadjar et Ain Karma.

1.3 : Paléogéographie :

La structure actuelle est le résultat d'une succession de mouvements, dont les plus marquants ont joué sensiblement dans le même sens et la même direction, d'où la difficulté de séparer les phases tectoniques les unes des autres. L'histoire tectonique de la région du bassin versant de la Mafragh peut se schématiser comme suit :

- 1) Mise en place Post-Eocène supérieur de l'unité Ultra-Tellienne qui s'est déplacée tangentiellement du NW vers le SE ou du Nord vers le Sud sur l'ensemble Tellien incliné selon la même direction.
- 2) Mise en place des nappes Telliennes charriées synchrones à un déplacement du matériel Numidien.

- 3) Mouvements de réajustement isostatique au Miocène supérieur, déterminant des accidents SW-NE. C'est probablement à cette époque que s'est effondrée la plaine au Sud d'Annaba, comblée rapidement de sédiments en partie continentaux.
- 4) Phase de distension Plio-Quaternaire orientée SW-NE accentuant les mouvements chevauchants et favorisant le rejeu des failles directionnelles.

Conclusion

De l'aperçu géologique, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Un remplissage de sédiments quaternaire constitue le fond de la dépression tectonique d'Annaba/El-Kala. Les apports de conglomérats, qui sont le plus souvent dus à l'érosion des roches mises en reliefs, viennent remplir cette dépression. Les alluvions récentes recouvrent ces formations argilo-limoneuses.
- Parmi les conséquences des phases orogéniques de la phase alpine du miocène supérieur, produites dans la plaine d'Annaba et qui continue encore actuellement, il y a un enfoncement progressif des grés Numidiens vers le Nord-Ouest jusqu'à 300m, sous un remplissage de formations continentales Plio-Quaternaires. Ce remplissage constitue l'essentiel du réservoir aquifère de la plaine d'Annaba -La Mafragh du fait de sa nature lithologique (Khérici, 1993). Les formations de bordure (grés numidien, glacis, terrasses) de la plaine sont de moindre potentialité hydrologique. Cependant, elles constituent généralement des zones d'alimentation pour le système aquifère.

V : Aperçu Hydrogéologiques :

Pour une meilleure maîtrise de la ressource en eau souterraine dans l'espace étudié, il est nécessaire d'identifier les différents systèmes aquifères rencontrés. Le système hydrogéologique de la Mafragh peut être schématisé de la façon suivante (Derradji. F, 2004) :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Des nappes profondes reconnues par les forages profonds.

1 : Les Différentes Nappes du Système Aquifère du Bassin Versant de la Mafragh :

1.1 : Plaines d'El Asfour :

Le bassin d'El Asfour correspond à une plaine alluviale avec un fond parfaitement plat.

1.1.1 : La Nappe Semi-captive :

La Nappe semi-captive repose sur un substratum imperméable argileux par endroit et limoneux par d'autres. Les sables argileux forment le toit semi-captif de la nappe, et les graviers constituent le réservoir de cette nappe avec une épaisseur qui varie de 15 à 20m.

1.1.2 : La Nappe superficielle :

Cette nappe est contenue dans les cailloutis, entre cette nappe alluviale et celle des graviers se forme un horizon sablo-argileux semi-perméable (Fig. 6). Dans certaines zones de la plaine, les deux nappes sont totalement confondues en une seule à surface libre. L'alimentation et le drainage de la nappe sont en étroite liaison avec l'Oued Bounamoussa (Labar, 2003).

1.2 : La Plaine de Boutheldja :

1.2.1 La Nappe Libre du Massif Dunaire :

Le long du littoral, un énorme massif dunaire s'amplifie de l'Ouest vers l'Est. Il prend alors une orientation NW-SE conforme aux vents dominants. Le massif dunaire de Boutheldja forme une nappe libre reposant sur un substratum argiligréseux imperméable à semi-perméable. Il est constitué de sables éoliens épais de 20m (Est) à 120m (Ouest) souvent à intercalations argileuses sous formes de lentilles (Khérici, 1985 ; Ramdani, 1996). Cette nappe exploite des relations souterraines perméables avec la Méditerranée au Nord, les terrasses de l'Oued El Kébir-Est et la nappe profonde des graviers dans lesquelles elle se décharge (limite perméable de fuite) au Sud, les marécages à l'Ouest. Elle jouit de deux limites à Est, l'une perméable au niveau des grés numidiens et l'autre imperméable à la limite des formations argileuses (Fig. 5). En plus des précipitations qui constituent la principale source du massif dunaire, les marécages (Marais Righia et Oum-Agareb), les eaux qui ruissellent des sommets numidiens et les affluents de L'Oued El Kébir-Est sont des sources additionnelles. Cet aquifère est considéré comme vulnérable du fait de la présence de la mer et des marécages salés à son pourtour (Derradji, 2004). La profondeur de la nappe des dunes varie de 2 à 8 m, et les variations piézométriques de 0.7 à 3 m.

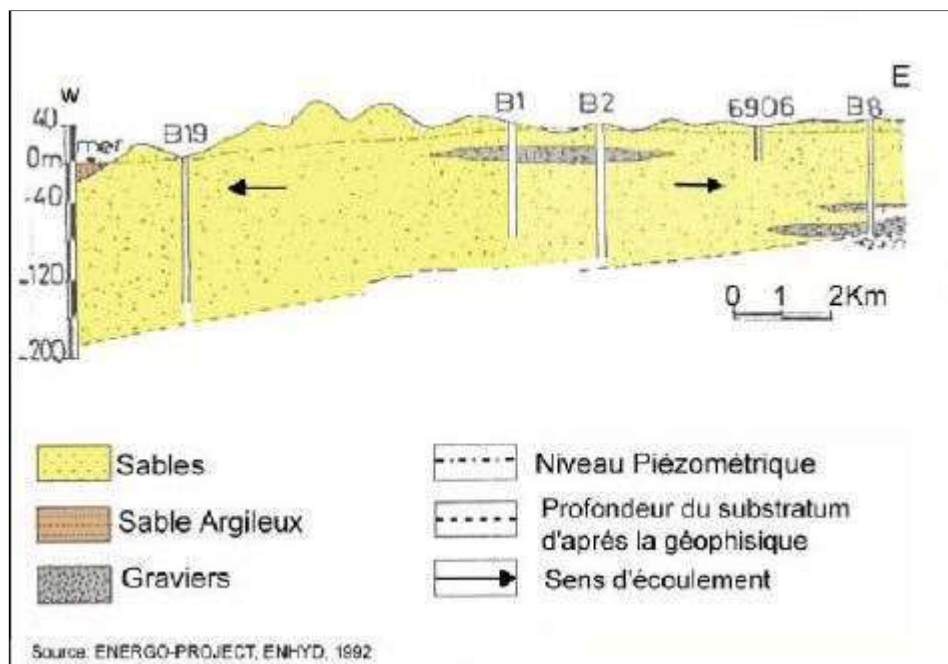


Figure 5: Coupe hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja (Energo -project enhyd, 1992).

La nappe est alimentée par l'infiltration des précipitations (25-40 %), et les eaux qui ruissellent des sommets numidiens ont un débit d'environ 1100 l/s ou $35 \times 10^6 \text{ m}^3$ /an (ENERGOPROJECT-ENHYD, 1992). Les eaux du massif dunaire sont captées et exploitées par 28 forages qui fournissent 600 l/s d'eau.

1.2.2 : Nappe captive :

Selon la coupe hydrogéologique dans la plaine de Boutheldja, il s'avère qu'il y a un contact entre les sables dunaires et les graviers par passage latéral de faciès qui induit des variations des caractères hydrochimiques, car la nappe du massif dunaire se décharge dans la nappe des graviers. Cette dernière repose sur une couche argileuse assurant l'étanchéité du substratum. Elle est constituée de graviers, galets et sables d'origines gréseuses issus des formations numidiennes, avec des passages de marnes, le tout surmonté par une couche argilo-limoneuse qui constitue le toit de la nappe captive (Fellah. R, 1998). Selon la morphologie de l'aquifère, l'épaisseur varie de 50 à 150m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 7,0 - 35 l/s.

1.2.3 : Nappe superficielle :

Elle se distingue dans les formations argilo-sableuses et limoneuses et dans les argiles compactes avec un passage latéral de sables fins, d'une épaisseur allant de 40 à 50m. L'alimentation de cette nappe s'effectue par les eaux de pluie et l'Oued Kébir Est. Selon la carte de fluctuation piézométrique, l'amplitude est de l'ordre de 2.5 m au Sud de la plaine, due probablement au drainage de la nappe par l'Oued Boulathane et le Lac des Oiseaux car dans cette zone les puits ont une faible influence sur la nappe. Au centre de la plaine une fluctuation de 2 à 2.5 m due à l'influence des puits et des forages.

1.3 : La Plaine d'El Tarf :

1.3.1 : Nappe profonde :

Cette nappe s'étend de l'Est vers l'Ouest avec un substratum marneux et un toit argileux d'épaisseur importante, le réservoir est constitué de galets et de graviers. La puissance de la nappe varie suivant la morphologie du substratum de 5 à 15m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 4.0- 10.0 l/s. (ENERGO PROJECT ENHYD, 1992).

1.3.2 : Nappe superficielle :

Elle couvre la totalité de la plaine d'El Tarf, elle est contenue dans les formations alluvionnaires et les argiles plus ou moins sableuses, elle est séparée de la nappe captive par un horizon argileux qui constitue le toit de la nappe captive et le substratum de cette nappe. Ce sont les précipitations efficaces qui alimentent cette nappe. Au centre de la plaine la fluctuation est très importante avec une amplitude maximale de 4.5 m, cela est dû à l'exploitation par de nombreux puits, en allant vers le Nord de la plaine la fluctuation diminue ; ceci est peut-être dû au drainage des Oueds : El Kébir-Est et Messida par la nappe. Par ailleurs au Sud-Ouest de la plaine la fluctuation varie de 1.5 à 2.5 m cela est dû à l'alimentation de la nappe par Oued Guergour.

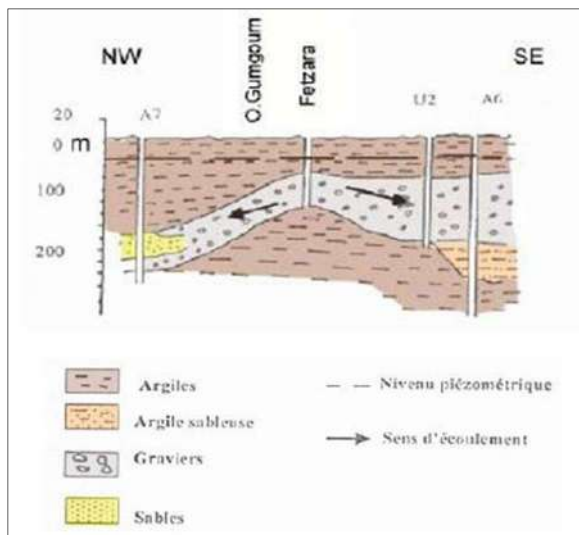


Figure 6: Coupe hydrogéologique dans la plaine de Bouteldja (Energoproject enhyd, 1992)

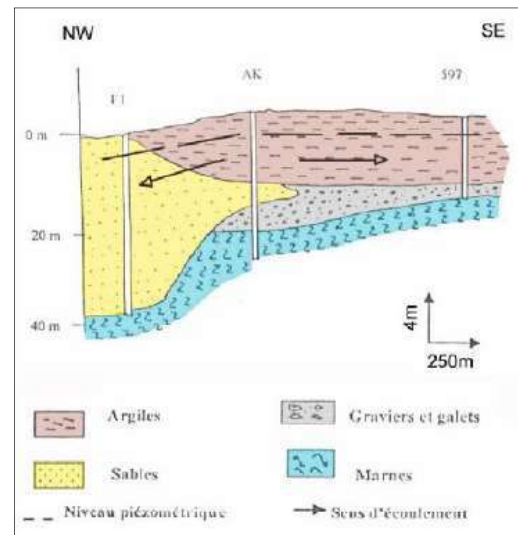


Figure 7: coupe hydrogéologique de la plaine d'El Tarf (Derraji F 2004)

1.4 : Nappe de la Plaine d'Annaba :

En réalité les nappes de la plaine d'Annaba sont des nappes qui chevauchent les deux bassins la Mafragh et la Seybouse. Un examen cartographique nous a permis d'estimer que plus de 60 % de la surface géographique des nappes de la plaine d'Annaba se localise dans le bassin de la Mafragh, sachant que la circulation des eaux souterraines n'obéit à aucune limite géographique

1.4.1 : Nappe des alluvions récentes et actuelles (superficielle) :

Cette nappe couvre la majorité de la plaine d'Annaba, soit une superficie de 320 km². Elle est contenue dans les alluvions récentes et actuelles à texture argilo sableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse avec quelques lentilles de sables.

1.4.2 : Nappe des graviers (profonde) :

Cette nappe est située en dessous de l'aquifère superficiel, elle s'étend sur toute la superficie de la plaine. Contenue dans les graviers, sables et galets plio-quadernaires et encaissée dans un bassin d'effondrement. L'épaisseur de l'horizon aquifère est variable de 2 à 70 m d'Ouest en Est et du Sud vers le Nord. Son toit est perméable, semi-perméable à imperméable formé de sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles. A travers ce toit intervient le phénomène de drainage dans la zone centrale.

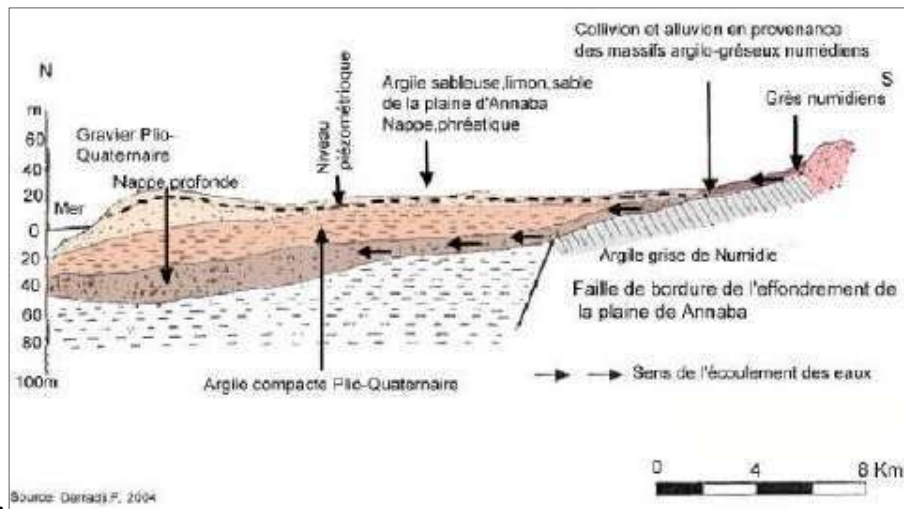


Figure 8: coupe schématique du système aquifère d'Annaba la Mafragh.(Derradji F 2004)

Conclusion :

L'étude hydrogéologique du bassin de la Mafragh a mis en évidence l'existence d'un important réservoir d'eau souterraine contenue surtout dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable, avec parfois des intercalations argileuses). Cet ensemble est divisé en fait en plusieurs nappes dont les plus importantes :

- 1- Un système aquifère constitué du massif dunaire de Boutheldja d'une superficie de près de 180 km² et d'une plaine alluviale résultant des dépôts de l'Oued Kébir-Est et ses affluents d'une superficie de 20 km². Le massif dunaire est essentiellement alimenté par les précipitations et par les reliefs bordant les sables à l'Est.
- 2- Au Sud, le passage latéral aux graviers de la plaine de Boutheldja est marqué par de nombreux marécages (nechaats et garaas) d'une superficie de 15 km² ; ceux-ci correspondent au niveau piézométrique de la nappe dunaire.
- 3- En ce qui concerne la plaine de Annaba d'une superficie de près de 320 Km², elle est caractérisé par :
 - Une nappe superficielle exploitée en grande partie par des puits domestiques.
 - Une nappe profonde, reconnue par les forages profonds.

L'analyse piézométrique (Derradji, 2004), a permis de mettre en évidence le rôle très important des précipitations dans la recharge des nappes. La relation Oued-nappe qui est mixte en plusieurs points a été également montrée. Par ailleurs, il faut souligner que les zones aquifères les plus vulnérables sont celles où le niveau de la nappe est le plus proche du de la surface du sol, et que le milieu non saturé constitue une barrière momentanée jouant un rôle de retard sur la migration verticale des polluants de surface (Derradji, 2004). Les nappes superficielles qui jouent un rôle indispensable dans l'alimentation des nappes profondes sont soumises à une exploitation intensive là où l'agriculture le nécessite.

VI. Hydrologie du Bassin Versant de la Mafragh :

Les ressources en eaux superficielles sont constituées par les eaux de surface tel que : les cours d'eau, les étendues libres (lacs) et les barrages. Les principaux oueds qui drainent notre bassin sont le Kébir-Est et la Bounamoussa, ainsi que leurs affluents, qui sont moins importants mais qui jouent un rôle complémentaire dans l'écoulement superficiel, l'alimentation et surtout le drainage des nappes superficielles.

1 : Hydrologie et Ressources en Eau dans le Bassin Versant de la Mafragh :

Les ressources en eaux superficielles sont constituées par les eaux de surface tel que : les cours d'eau, les étendues libres (lacs) et les barrages. Les principaux oueds qui drainent notre bassin sont le Kébir-Est et la Bounamoussa, ainsi que leurs affluents, qui sont moins importants mais qui jouent un rôle complémentaire dans l'écoulement superficiel, l'alimentation et surtout le drainage des nappes superficielles.

Le tableau 1 nous permet d'avoir plus d'information sur le potentiel hydrique superficiel assuré par les apports des oueds qui drainent le bassin versant.

Tableau 1: Apports moyens annuels des principaux oueds (Source : D.H.W, El-Tarf)

Oueds	Apport moyen annuel en Hm ³	La part en%
<i>Kébir-Est (station Ain Assel)</i>	295	54.02
<i>Boulathane</i>	15	2.74
<i>Guergour</i>	8	1.46
<i>Zitouna (station Zitouna)</i>	52	9.52
<i>Bouhaloufa</i>	49	8.97
<i>Bounamoussa (station Boutayeb)</i>	127	23.26
<i>Total la Mafragh</i>	546	100

Le potentiel mobilisable en eau est de l'ordre 546 Hm³/an, la part de contribution la plus importante étant celle d'Oued Kébir-Est et ses affluents avec 419 Hm³ (76.73 %), celle de la Bounamoussa étant de 127 Hm³ (23.26 %).

1.1 : Hydrologie des Oueds Bounamoussa et Kebir-Est :

Le réseau hydrométrique existant est de très faible densité. Actuellement, deux stations hydrométriques sont fonctionnelles, située à l'amont du bassin versant. Dans notre analyse du régime d'écoulement du bassin versant de la Mafragh, nous nous limiterons à l'analyse du régime d'écoulement en provenance des Oueds Kébir-Est et Bounamoussa. La station d'Ain Assel contrôle une surface de 680 Km² sur l'Oued Kébir avec une longueur de la série qui s'étend sur 29 ans de 1968/69-1996/97, alors que la station de Cheffia Barrage (Boutayeb) contrôle une surface de 575 Km² sur Oued Bounamoussa avec une série de 27 ans de 1976/77-2002/03.

1.1.1 : Le ruissellement :

Pour déterminer le bilan hydrique, il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but de comprendre l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la terre (Leclerc, 1992).

Le coefficient de ruissellement (R) est calculé selon la formule de Tixeront- Berkaloff comme suit:

$$\text{Dans notre cas } p < 600 \text{ mm donc : } R = \frac{p^3}{3(ETP)^2}$$

Avec R : Ruissellement (mm).

P : Précipitations moyenne annuelle (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

1.1.2 : Estimation de l'infiltration :

Pour ceci, on procède à l'équation fondamentale du bilan hydrologique. D'où : $I = P - ETR - R$

- P : précipitation moyenne annuelle (mm).
- ETR : évapotranspiration réelle (mm).
- R : ruissellement.
- I : Infiltration.

Si $I > 0$: les entrées sont supérieures aux sorties.

Si $I < 0$: les entrées sont inférieures aux sorties.

$$P = ETR + R + I$$

Tableau 2: Paramètres du bilan hydrique

stations \ paramètres	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
les Salines	656,88	893,09	94,48	474,01	88,39
Cheffia Barrage	815,32	927,85	180,66	504,82	129,84
Bouhadjar	559.25	826.24	85.41	425.25	48.39

Selon les paramètres du bilan dans le tableau n°02, on remarque que l'infiltration et le ruissellement sont directement liés aux précipitations.

VI : La Climatologie :

La région d'Elkala est caractérisée par un climat de type méditerranéen : hiver doux et humide, été chaud et sec. La pluviométrie moyenne annuelle entre 800 et 1000 mm.

Ces paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

On signale que nous disposons d'une série de données pluviométriques journalières d'une durée de 17 années d'observations (1996-2013) à la station d'Ain Assel.

1 : Les facteurs climatiques :

1.1 : Précipitation :

Les précipitations constituent le premier facteur important dans le cycle de l'eau. Leur distribution dans le temps et dans l'espace conditionne la forme d'écoulement. Ce sont les quantités de l'eau météoriques qui tombent sur la surface de la terre sous forme liquide (la pluie, la neige, brouillard, grêle, rosée).

Notre région d'étude est classée parmi les régions les plus pluvieuses dans notre pays l'Algérie et Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitation allant de 1996 jusqu'aux 2013 soit 17 ans d'observation.

1.1.1: les précipitations mensuelles :

Les quantités d'eau tombées à l'échelle mensuelle donnent un aperçu sur les rapports au niveau de station par mois de l'année, ce qui ne permet de classer les mois selon leur pluviosité. Le tableau n°3 donne la répartition mensuelle au niveau de station d'Ain Assel.

Tableau 3: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station d'Ain Assel (1996_2013)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	juil	Aout
P (mm)	55.63	77.15	125.93	137.85	113.81	113.90	66.30	78.33	27.10	4.82	1.33	6.00

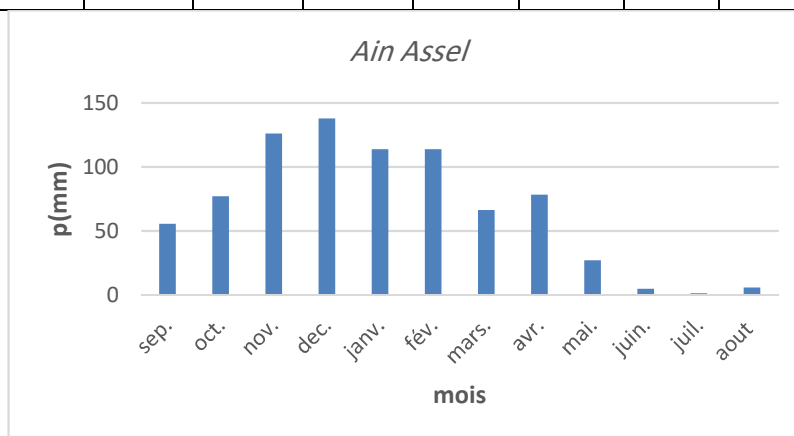


Figure 9: Variations mensuelles des précipitations à la station d'Ain Assel

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (fig n°09) réalisé pour la station d'Ain Assel montre un accroissement des précipitations allant du mois de septembre jusqu'au mois de décembre, au-delà débute la baisse des précipitations qui se poursuit jusqu'au mois d'Août.

Le maximum des pluies tombe aux mois de décembre avec 137.85 mm et le minimum tombe au mois de juillet avec 1.33 mm

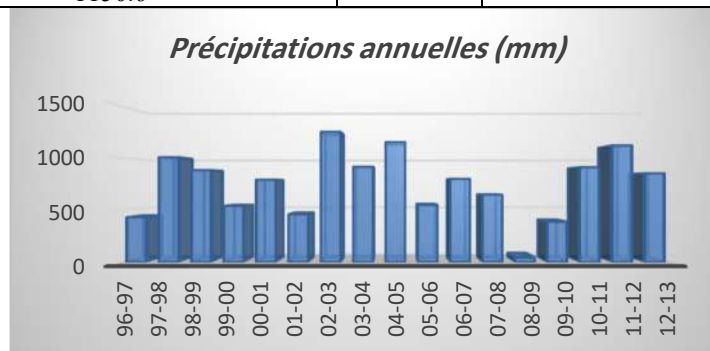
1.1.2: précipitation annuelles :

L'étude des précipitations annuelles de la station d'Ain Assel montre une grande différence entre l'année la plus arrosée (2002-2003) avec 1319.7 mm et l'année la plus sèche (2008-2009) avec 45.9 mm.

Le tableau suivant représente les variations des précipitations annuelles (1996-2013).

Tableau 4: variations annuelles des précipitations à la station d'Ain Assel

Années	Précipitations annuelles (mm)	Années	Précipitations annuelles (mm)
96-97	430.8	05-06	547.7
97-98	1006.9	06-07	799.2
98-99	883.9	07-08	646.2
99-00	539.1	08-09	45.9
00-01	791.3	09-10	387.5
01-02	459.3	10-11	911
02-03	1250.4	11-12	1120.1
03-04	916.3	12-13	853.1
04-05	1150.6		

**Figure 10: variations des précipitations moyennes annuelles de la station d'Ain Assel**

Selon le histogramme on remarque que l'année pluvieuse est l'année 2002/2003 avec une valeur d'ordre de 1300mm. par rapport l'année 2008/2009 qui marqué par des faibles précipitations (50 mm).

1.1.3: Coefficient pluviométrique :

Le coefficient pluviométrique permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire. L'année est d'autant plus excédentaire que $H > 1$. Si $H < 1$, l'année correspondante est déficitaire.

Le terme H est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année à la pluviométrie moyenne P pour une période de n années;

$$C_p = P / P_{moy}$$

Avec :

P_{moy} : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm)

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm)

C_p : Coefficient pluviométrique.

- Une année est dite excédentaire (AE) si : $C_p > 1$.
- Une année est dite déficitaire (AD) si : $C_p < 1$.

Tableau 5: Récapitule les résultats du coefficient pluviométrique (C_p).

Années	Paramètres	Précipitations annuelles (mm)	C_p	Observations
96-97		430.8	0.53	AD
97-98		1006.9	1.24	AE
98-99		883.9	1.09	AE
99-00		539.1	0.66	AD
00-01		791.3	0.97	AD
01-02		459.3	0.56	AD

02-03	1250.4	1.54	AE
03-04	916.3	1.13	AE
04-05	1150.6	1.42	AE
05-06	547.7	0.67	AD
06-07	799.2	0.98	AD
07-08	646.2	0.79	AD
08-09	45.9	1.29	AD
09-10	387.5	0.47	AD
10-11	911	1.12	AE
11-12	1120.1	1.38	AE
12-13	853.1	1.05	AE

D'après le tableau si dessus concernant les résultats du coefficient pluviométrique nous remarquons que :

- Il y a 8/17 année déficitaire et 9/17 année excédentaire
- Il Ya une alternance entre les années excédentaire (AE) et les années déficitaires (AD)

1.1.4: l'indice d'aridité (l'indice de Demartonne) :

Il est défini par la relation suivant : $I = \frac{p}{T+10}$

I : précipitation annuelle moyenne (mm)

T : température annuelle moyenne (C°)

Selon DE .MARTONNE :

- $I > 30$: climat humide (l'écoulement est abondant).
- $20 < I < 30$: climat tempéré.
- $10 < I < 20$: climat semi-aride.
- $5 < I < 10$: climat désertique.
- $I < 5$: climat hyper aride.

Pour la station de Ain Assel on trouve $I = 29.20$ ce qui correspond à un climat tempéré.

1.2 : Température :

La température est le deuxième élément important dans l'étude du climat, elle joue un rôle important dans la détermination des paramètres climatiques particulièrement la détermination du bilan hydrique et dans les pertes en eau par le phénomène de l'évapotranspiration.

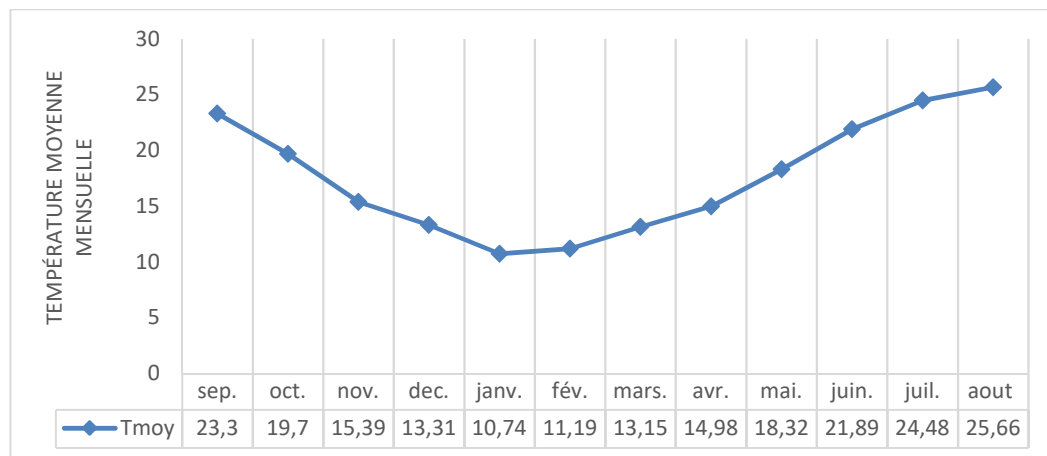


Figure 11: variations mensuelles des températures à la station d'Ain Assel (1996-2013)

Dans la zone d'étude les valeurs de température sont élevées en été, et la moyenne mensuelle du mois le plus chaud (Aout) dépasse 25°C et celle du mois le plus froid (janvier) est de 10.74(°C).

1.3 : Humidité de l'air :

(Le degré hygrométrique de l'air ou humidité relative) :c'est le rapport de la tension de vapeur effective a la tension de vapeur saturant dans les mêmes conditions de température et de la pression. L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. L'humidité est généralement mesuré par un appareil appelé hygromètre.

Dans la zone d'étude et dans la région d'elkala en général le degré d'hygrométrie est très élevé le long de l'année.il est presque constant avec une moyenne de 76,40 % le maximum est observé en décembre 78,9% et le minimum en janvier 74,1% Il est faible au cours de l'année.

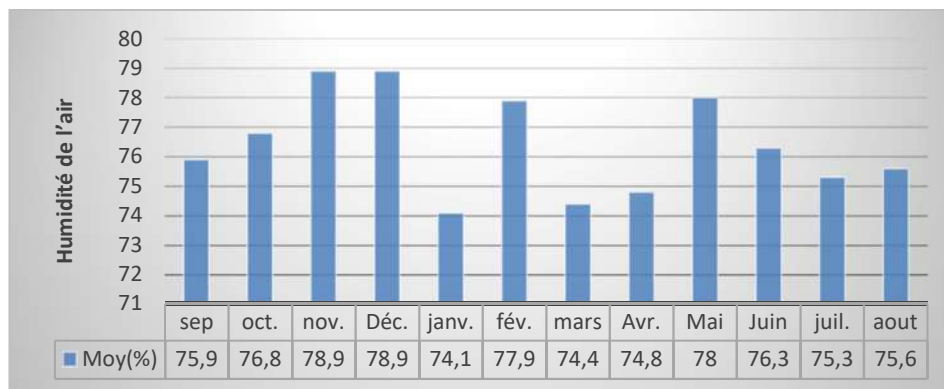


Figure 12: variations mensuelles de l'humidité de l'air à la station d'Elkala (1983-2005)

1.4 : Le vent :

Ce paramètre climatique joue un rôle très important dans notre région puisqu'il intervient dans la pluviométrie, c'est un paramètre plus régulier dans notre région, il détermine par sa direction et sa vitesse. Les données climatiques recensées à L'ONM (station d'Elkala) montrent que les vents les plus fortes se produisent durant les mois de novembre à avril avec un maximum de 4.1 m/s en mars, durant le reste des mois la vitesse moyenne du vent minimal est en mois de juin (2m/s).

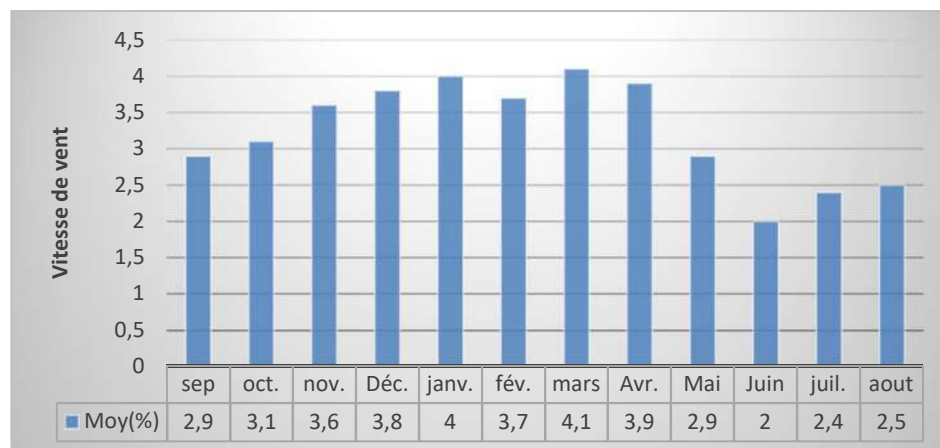


Figure 13: Variations mensuelles de la vitesse des vents à la station d'El Kala (1984-2005)

1.5: Bilan hydrique :

La connaissance du bilan hydrique, nous permettra d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique tel que l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation. L'estimation de ces trois paramètres est un outil de base pour l'analyse de la ressource eau à différentes échelles temporelles et spatiales, afin de prévoir leurs impacts sur le développement et l'aménagement de ce type de bassin de vie.

1.5.1 : Calcul du bilan hydrique selon la formule de CW Thornthwaite :

Le bilan de Thornthwaite permet d'estimer pour chaque mois :

- L'évapotranspiration potentielle en mm;
- L'évapotranspiration réelle en mm;
- La réserve facilement utilisable (RFU) en mm;
Ce terme présente la quantité d'eau disponible dans le niveau superficiel du sol.
- L'excédent d'écoulement (Ex) en mm dans le cas où:
ETP = ETR donc la RFU est à son maximum (100 mm).
L'excédent, est appelé aussi pluie efficace, est le reste des eaux de pluie constituent l'écoulement et l'infiltration.
- Le déficit agricole (DA) en mm, il résulte de la différence entre l'ETP et l'ETR.
Il présente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures pour que la sécheresse ne l'atteigne pas.

Ici, l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Thornthwaite est:

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

$$a = (1.6/100) I + 0.5 (12)$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm;

T : Température moyenne mensuelle en °C;

I : Indice thermique annuelle où $I = \sum_1^{12} i$ et $i = (T/5)^{1.514}$

1.5.2 : Interprétation du bilan de Thornthwaite:

On remarque que lorsque la RFU est totale, il y a un surplus d'eau accompagnée par un écoulement et quand elle commence à diminuer, on a un épuisement du stock peu à peu au point qu'il sera complètement vide.

Ici, il y aura un déficit agricole (le déficit agricole à partir du mois de juin jusqu'au mois d'octobre). La reconstitution du stock s'observe au mois de mai avec une RFU égale à 76.5 mm.

La RFU atteint son maximum (100 mm) au mois de novembre et reste ainsi jusqu'au mois d'avril.

Pour notre station, l'écoulement commence en novembre et se termine au mois d'avril avec une somme de 459.3 mm.

Tableau 6: Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station d'ain Assel 1996-2013)

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	RFU	ETPR	Def	Exc
S	23.3	10.3	1.03	78.5	55.63	0.0	55.6	22.9	0.0
O	19.7	8.0	0.97	48.6	77.15	28.5	48.6	0.0	0.0
N	15.4	5.5	0.86	23.3	125.93	100.0	23.3	0.0	31.1
D	13.3	4.4	0.81	15.3	137.85	100.0	15.3	0.0	122.6
J	10.7	3.2	0.87	9.6	113.81	100.0	9.6	0.0	104.2
F	11.2	3.4	0.85	10.4	113.9	100.0	10.4	0.0	103.5
M	13.2	4.3	1.03	18.9	66.3	100.0	18.9	0.0	47.4
A	15	5.3	1.10	27.9	78.33	100.0	27.9	0.0	50.5
M	18.3	7.1	1.21	50.6	27.1	76.5	50.6	0.0	0.0
J	21.9	9.4	1.22	79.6	4.82	0.0	79.6	0.0	0.0
J	24.5	11.1	1.24	106.9	1.33	0.0	1.3	105.6	0.0
A	25.7	11.9	1.16	112.4	6	0.0	6.0	106.4	0.0
Annuel	20.6	124.6		581.9	808.2		347.1	1129.9	459.3

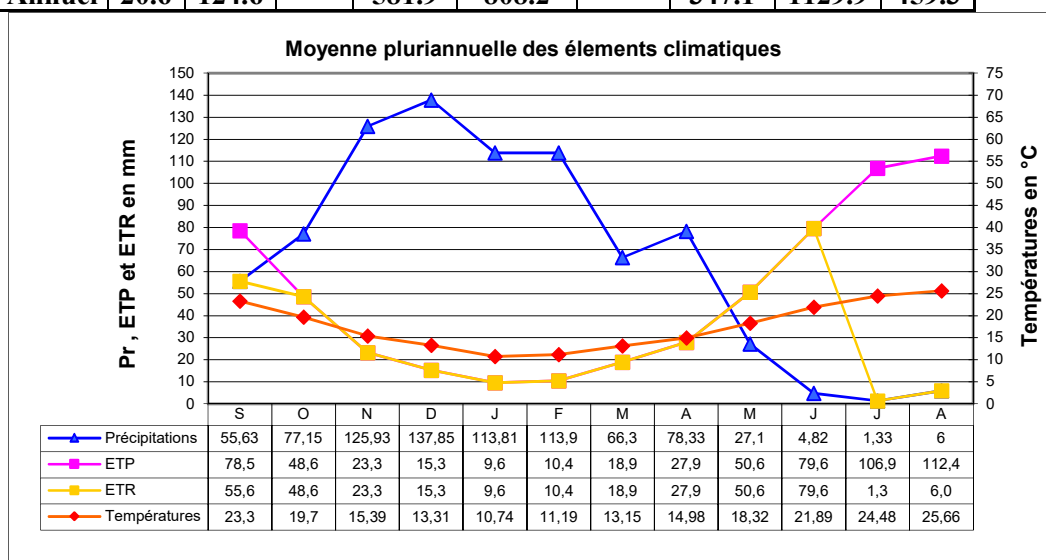


Figure 14: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite (Station d'Ain Assel 1996– 2013)

Conclusion :

L'analyse des données climatiques de la région nous a permis de distinguer deux saisons :

- Une saison froide et humide (d'octobre à avril).
- Une saison chaude et sèche (de mai à septembre).

Les précipitations du bassin de la Mafragh sont définies par une répartition très irrégulière. Elles augmentent de l'Ouest à l'Est et du Nord vers le Sud. L'humidité relative est élevée durant toute l'année. La température moyenne mensuelle du mois le plus froid (Janvier) est de 10.67°C et du mois le plus chaud (Août) est de 25.66 °c .A partir des bilans il se déduit une ETR élevée et un déficit considérable caractérisé par des mois hyper secs.

Enfin, il semble que la répartition de la majorité des précipitations pendant la saison humide favorise un excès d'eaux ce qui peut exposer la région durant cette période a des inondations répétées d'une année à l'autre.

Chapitre II :

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

Introduction :

La méthodologie suivie au cours de cette étude repose sur des images satellitaires de Landsat ainsi que les images MNT. Les images de Google Earth de très haute résolution sont utilisées pour digitaliser les petits lacs. Pour traiter ces données, un ensemble de logiciels sont utilisés.

Afin de couvrir la zone d'étude, on a utilisé quatre scènes de Landsat8, de deux dates (06/04/2016 et 14/09/2016).

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.

I : Matériels

1 : Les données satellitaires

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.

Ces données altimétriques du Modèle Numérique de Terrain ont été utilisées afin de réaliser la carte des pentes, la délimitation du bassin versant et la détermination du réseau hydrographique drainant le bassin versant.

1.2 : Les images satellitaires (LANDSAT OLI) :

Afin d'étudier l'évolution des états de surface d'eau des zones humides de notre zone d'étude, nous avons analysé quatre scènes (p192r034, p192r035, p193r034 et p193r035) d'images Landsat 8. Ces scènes sont prises en deux dates (06/04/2016 et 14/09/2016) correspondant à deux saisons de la même année 2016, chaque scène contient 12 bandes, mais seulement 7 bandes ont été utilisées :

- 06 bandes multi spectrales à 30m de résolution, dont trois dans le visible (Oli 2, 3 et 4) et trois dans l'infrarouge (Oli 5, 6 et 7).
- 01 bande panchromatique Oli 8 à 15m de résolution.

1.3 : Les images Google Earth:

Un deuxième 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 Digital Globe) ont permis de bien identifier les différentes classes d'eau et de faire la correspondance avec leur réponse spectrale sur les images satellitaires « Landsat » des deux dates. Elles ont aussi servi pour digitaliser les petits lacs.

2 : Les logiciels utilisés :**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.

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 géo traitement.

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.

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.

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.

2.5 Diagramme :

C'est un logiciel d'hydrogéochimie qui aide à vérifier la fiabilité des analyses chimiques par le calcul de la balance ionique, et des paramètres géochimiques (rapports caractéristiques et les indices de saturation) et de réaliser des diagrammes hydrochimiques (Piper, Schoeller, Reverside, ... etc.).

2.6 PhreeqcI v 2.15 :(Parkhurst and Appelo, 1999)

C'est un logiciel de modélisation thermodynamique qui fait la simulation à l'évaporation naturelle de l'eau (température de l'échantillon). Il fait des calculs des indices de saturation ($IS = \log(Q) / \log(Kps)$) des minéraux dissous dans l'eau (en utilisant la loi de Debye-Huckel).

II : Méthodes :

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. 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 géo traitements permettent de remonter les lignes de plus grande pente et de dessiner les lignes de crêtes.

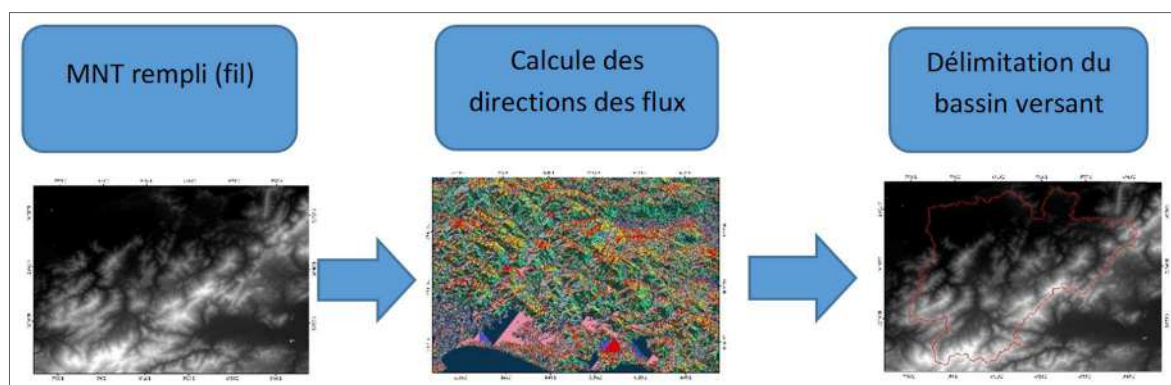


Figure 15: illustration de la chaîne de géotraitements pour la délimitation du bassin versant

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.

1.1 Processus d'extraction du réseau hydrologique :

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.

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 16.

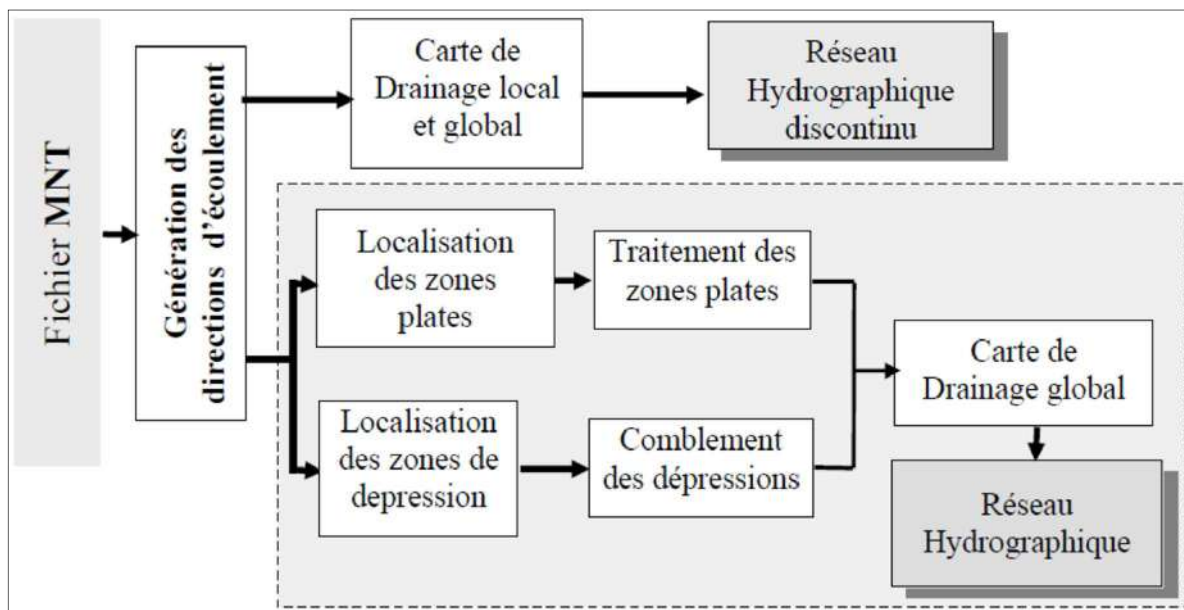


Figure 16: Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrologique

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 en degrés avec une subdivision en 5 classes (« <math> < 2^\circ </math> », « $2^\circ - 6^\circ$ », « $6^\circ - 12^\circ$ », « $12^\circ - 18^\circ$ », « $> 18^\circ$ »).

2 : Occupation du sol :

2.1 : Les prétraitements des images :

Les données acquises par télédétection nécessitent donc deux types de correction :

2.2 : Correction radiométrique :

Les corrections radiométriques dues à l'atmosphère ont pour but de corriger certaines variations de la distribution des données causées par le décalage temporel dans l'acquisition des images.

2.3 : Correction atmosphérique :

Après les prétraitements 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 (Fig. 17) :

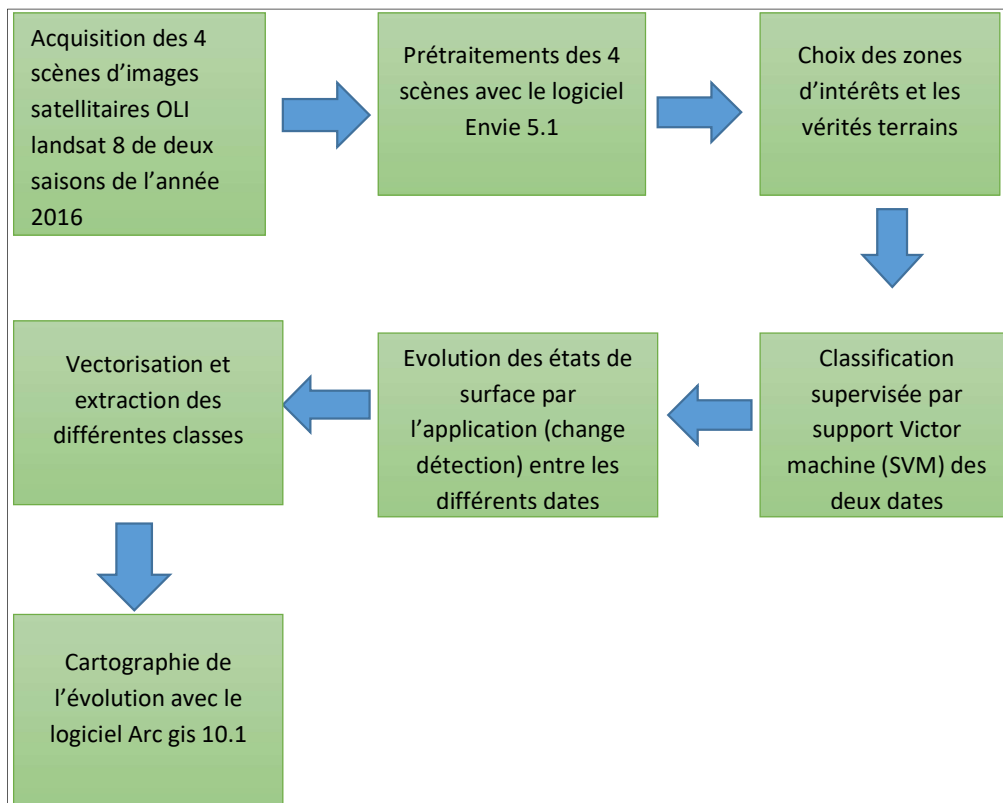


Figure 17: Organigramme du processus général de traitements des images Landsat8

- 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 (Envi5.1), cette étape est utilisée pour simplifier le découpage des 2 dates étudiées.

- Découpage des 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.

- 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).

2.4 : 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.

2.4.1: 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).

$$NDVI = \frac{(PIR - Rouge)}{(PIR + Rouge)}$$

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.

2.4.2 : 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 seuilles des néo-canaux utilisés pour la classification par Arbre de Décision

Date	Avril 2016		Septembre 2016	
	Bande	Seuil	Bande	Seuil
Couvert Végétal	NDVI	> 0.35	NDVI	> 0.20

2.5 : 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.

III : Hydrochimie :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

La chimie des eaux (eaux de surface, nappe superficielle et nappe des graviers est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole (Nafaa, 1985 ; Kherici, 1993 ; Djabri, 1996 ; Lauhi, 1996 ; Zenati, 1999).

En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette partie a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux des zones humides du bassin versant de la Mafragh, son évolution dans le temps, dans l'espace en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques de l'eau.

De ce fait, il consiste au début à réaliser des prélèvements d'eau pour une analyse complète des paramètres physico-chimiques, pour Expliquer l'origine et l'évolution de chaque élément. Et enfin, faire une étude détaillée de chaque cas de pollution dans notre site d'étude.

Pour traiter et discuté les différentes résultats d'analyse des données obtenus dans les eaux, on a besoin de définir les principales méthodes à suivre avec les différents matériel.

En se basant spécialement sur les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse des échantillons sans oublier l'outil informatique (PhreeqC et Diagrammes).

1 : Mode échantillonnage :

Pour évaluer les caractéristiques physico-chimiques des eaux à l'échelle du bassin, on a échantillonné systématiquement quelques zones humides. Pour suivre l'évolution annuelle du chimisme de ces eaux, ont effectué un prélèvement d'eau lors de la période sèche (fin septembre et début octobre) et un autre lors de la saison humide (fin mars et début avril). L'échantillonnage de l'eau a été effectué sur 11 sites choisis :

Les lacs : (lac Noir, lac Oubéira, garaat Mekhada et lac des Oiseaux).

Les oueds : (oued Mafragh ; oued Kebir amont, centre et aval ; oued Bounamoussa amont, centre et aval) pour voir l'évolution spatiale de la qualité des eaux de ces oueds.

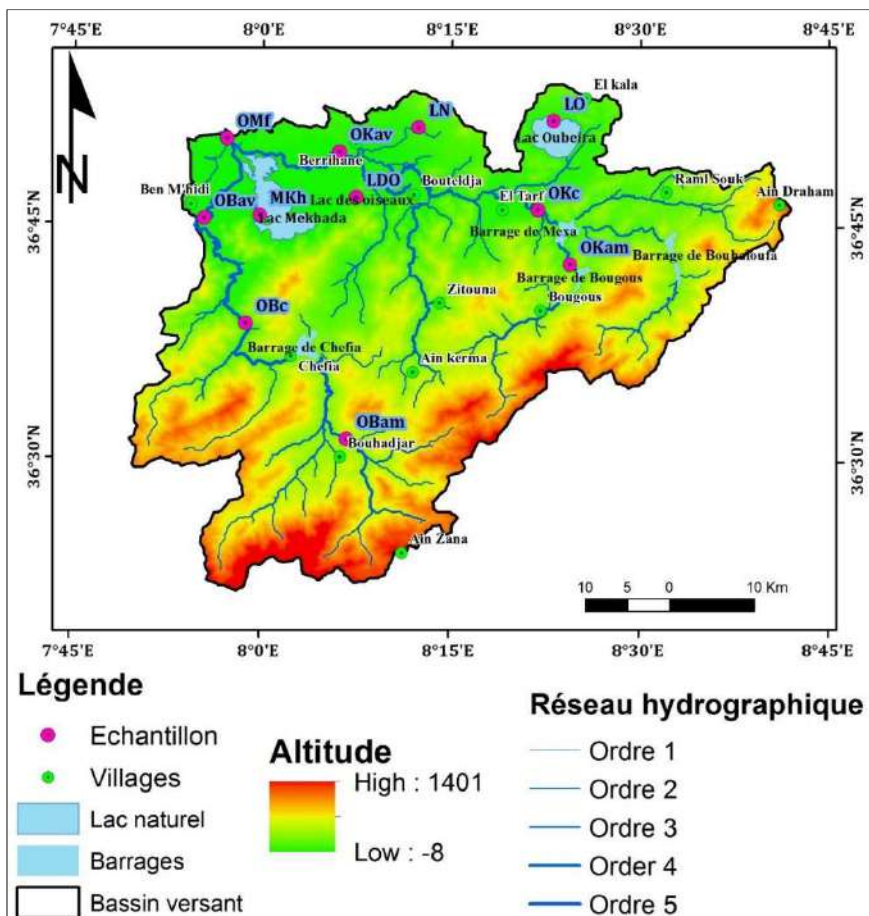


Figure 18: Carte de la répartition des échantillons dans la zone d'étude

Les prélèvements ont été réalisés manuellement entre 10 et 15 cm de profondeur et conservés à basse température (4°C) dans des bouteilles en plastique fermées hermétiquement. Les échantillons d'eau ont été par la suite filtrés sur du papier filtre de 0.45µm de diamètre des pores (Buttler, 1992).

Deux campagnes (Avril et Septembre 2016) de prélèvement de 11 échantillons (Tab. 8) ont été réalisées. Ils sont conditionnés par une bonne répartition spatiale de ses différents points d'eau

Tableau 8: Campagne d'échantillonnage dans la zone d'étude.

N°	Station	Latitude DMS N			Latitude DD	Longitude DMS E			Longitude DD
3	LN	36	51	17.2	36.85478889	8	12	22.5	8.206252778
6	LO	36	51	45.6	36.86266667	8	23	7.5	8.385416667
7	OMf	36	50	30	36.84166667	7	57	8.7	7.952416667
8	MKh	36	45	36.7	36.76019444	7	59	48.2	7.996722222
9	LDO	36	46	47.1	36.77976111	8	7	27.7	8.124361111
10	OKam	36	42	35.6	36.70988889	8	24	28.2	8.407833333
11	OKc	36	46	2.6	36.76738889	8	21	53.8	8.364944444
12	OKav	36	49	42	36.82833611	8	6	7.37	8.102047222
13	OBam	36	31	20.6	36.52238889	8	6	49.8	8.113833333
14	OBc	36	38	42	36.645	7	58	46.2	7.9795
15	OBav	36	45	23.9	36.75663889	7	55	22.7	7.922972222

2: Méthodes d'analyses des eaux :

Nous avons choisi des paramètres physico-chimiques tels que la température, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous ; des paramètres chimiques tels que les éléments majeurs : les anions solubles (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et les cations solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+}) ainsi que les nutriments (NO_3 et PO_4).

2.1 : Les analyses sur terrain (Mesures in situ) :

Trois paramètres physico-chimiques (T (°C), pH et conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)) sont mesurés sur site directement après le prélèvement des échantillons à l'aide d'un multiparamètre WTW (Multiline P3 PH/LF SET), ainsi que l'oxygène dissous par un oxymètre (CelloX325).

2.2 : Analyses au laboratoire :

- **Par titrimétrie** : Les Chlorures, les Bicarbonates, ainsi que le Calcium ont été dosés par titrimétrie (Rodier, 2005).
- **Par complexométrie** : La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)
- **Par spectrophotométrie** : Les teneurs des Sulfates.
- **Par photométrie de flamme** : Sodium et Potassium
- **Par colorimétrie** : Les Nitrates et Orthophosphate sont déterminés
- La concentration magnésienne de l'eau analysée est donné par la différence entre la dureté totale et la dureté calcique $\text{Mg}^{+2} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$ (Rodier, 2009).

2.3 : Méthodes de traitement des résultats :

La réalisation des diagrammes hydrochimiques : pour la détermination des faciès chimique de l'eau on a utilisé le logiciel « Diagrammes » par la représentation des éléments chimiques dans le diagramme de Piper, puis une représentation des éléments chimiques dans le diagramme de « Riverside » pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation.

Le calcul de l'indice de saturation : on a utilisé le logiciel thermodynamique chimique, Phreeqci.v.2.15 pour le calcul de l'indice de saturation ($\text{IS} = \log(Q) / \log(K_{ps})$) des minéraux dissous dans l'eau, en considérant que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5.

La détermination de la potabilité des eaux : Les analyses physico-chimiques des eaux des zones humides du bassin versant de la mafragh obtenu sont comparées avec des normes de potabilité de l'eau qui sont représenté dans le Tableau 9 suivant :

Tableau 9: Norme de potabilité de l'eau

	Unités	Valeurs maximales admissibles		
		Algérie (1)	France (2)	OMS (3)
Résidu sec	mg/l	1500	1500	/
Température	°C	25	25	/
Concentration en ions H^+	Unité pH	$\geq 6,5$ et ≤ 9	$\geq 6,5$ et ≤ 9	$\geq 6,5$ et $\leq 8,5$
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C	2800	≥ 180 et ≤ 1000	400
TDS	mg/l	/	/	< 600

Calcium (Ca ²⁺)	mg/l en CaCO ₃	200	100	/
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/l de Mg ²⁺	150	50	/
Sodium (Na ⁺)	mg/l	200	200	200
Potassium (K ⁺)	mg/l	12	12	12
Alcalinité (HCO ₃ ⁻)	mg/l en CaCO ₃	500	/	/
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	500	250	250
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	400	250	250
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l de NO ₃ ⁻	50	50	50
Phosphate (PO ₄)	mg/l	0,5	/	/

- (1) : Selon le décret du 22 mars 2011 (J.O.R.A.), Algérie.
- (2) : Selon l'arrêté du 11 janvier 2007 (J.O.R.F.), France.
- (3) : Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), 2011.

2.4 : Aptitude des eaux à l'irrigation :

Les eaux chargées en sels minéraux posent des problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une influence sur la croissance des plantes. Parmi ces sels, on peut citer le cas des sulfates et du sodium, qui avec de fortes teneurs influent sur la structure physique du sol et sur le développement de la plante.

Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \text{ (mg/l)}$$

Cinq classes d'eau ont été définies : *Excellente, Bonne, Admissible, Médiocre, Mauvaise* (Tab.10).

Tableau 10: Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (l'Ouvrier, 1976).

Degrés	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S1 C1-S2	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles
3	Admissible	C3-S1 C2-S3 C3-S2	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	inutilisable

Chapitre III :

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion :

Introduction

Dans cette partie, nous allons examiner les différents résultats obtenus dans ce travail avec l'interprétation de celle-ci. Soit pour le travail de cartographie par l'outil télédétection avec l'interprétation des résultats de différents traitements multi spectrales des images satellitaire, ainsi que la partie hydrochimie avec l'interprétation des résultats des analyses physicochimiques des eaux des zones d'études.

I : Hydrologie :

Le traitement de l'image satellitaire MNT Par global mapper et ArcMap a permis de délimité le bassin versant de la mafragh ainsi que la détermination du réseau hydrographique et la réalisation de la carte des pentes.

1 : Etude du bassin versant de la mafragh :

Le bassin versant fonctionne comme un collecteur de précipitations qui vont se transformer en plusieurs types d'écoulements tout dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morphométriques (forme, relief, altitude, pente, réseau de drainage etc.) et la nature du sol ainsi que le couvert végétal. Ces caractéristiques qui interviennent de façon combinée pour expliquer les modalités de l'écoulement, s'apprêtent à une analyse quantitative.

1.1 Caractéristique de la forme du bassin versant :

Les caractéristiques morpho métriques du bassin versant de la mafragh ont été déterminés à partir du logiciel ArcGis, le bassin versant à une superficie de 2635.29 km² pour un périmètre de 325.76 km, la forme du bassin versant conditionne le temps de réponse aux précipitations.

Indice de compacité ou coefficient de Gravelius : Ce coefficient « Kc » caractérise la compacité et compare la forme du bassin versant.

$$Kc = \frac{0.28P}{\sqrt{2635.29}} = 1.77$$

Où :

P : Périmètre (km)

A : Surface du bassin versant (Km²)

Si :

$Kc \leq 1$: Bassin versant de forme circulaire

$Kc = 1.12$: Bassin versant de forme carrée

$Kc \geq 1.12$: Bassin versant allongé

Dans notre cas $Kc = 1.77$ donc le bassin versant de la mafragh à une forme allongé

1.1.1: Carte des pentes :

Les pentes, comme héritage morphologique, nous permettent de caractériser les aspects du relief et les différentes inclinaisons des versants. Elles sont liées à la dynamique du milieu car elles jouent un rôle fondamental dans l'explication de certaines formes de l'érosion.

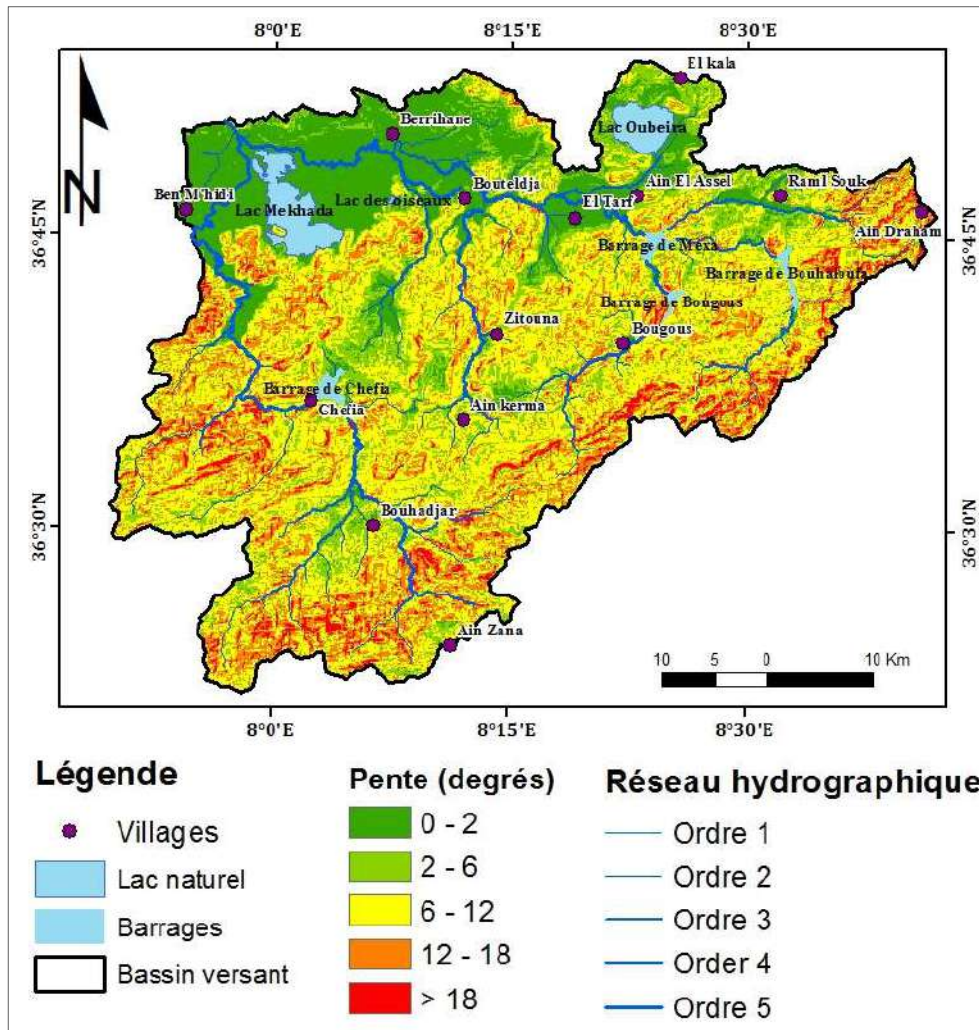


Figure 19: Carte des pentes

Les différentes classes de pentes (Fig. 19), sont déterminées à partir du logiciel ArcGis qui consiste à établir une échelle millimétrique des distances qui correspondent à chaque pente

a : La classe (0-2 %) :

Cette classe est localisée sur un matériel alluvionnaire (sablo-limoneux, sabloargileux) de la basse vallée de la Mafragh (autrement dit Plaine de Annaba/Boutheldja et ElTarf/Ain Assel), et apparaît également sur les replats des sommets gréseux.

Ces formes restent submergées durant la période pluvieuse en raison de la faible capacité d'évacuation de l'Oued Mafragh à cause de l'ensablement de l'embouchure ; ce qui provoque une stagnation et par conséquent un retour d'eau, surtout quand la mer est en haute eaux, d'où une mauvaise réception des eaux d'oueds par cette dernière.

b : La classe (2-6 %) :

Cette classe apparaît sur les zones d'épandage et au pied des versants sous forme de glacis dans le bassin de Bouhadjar, Cheffia et Ain Karma comme les glacis de Djebel Oum-Ali, ainsi que sur le cordon dunaire qui se caractérise par une pente généralement faible

c : La classe de (6- 12%) :

Cette classe de pente qui reste relativement faible, marque spatialement le Sud-Est du bassin versant. On la rencontre sur les versants des collines de Ksar Ouglaa, dans le bassin d'Ain Karma « Djebel Loulidja », sur le versant d'Oued Zitouna à Mechtat Bou Barouk et Haoud Safsafa, dans la partie Ouest

d : La classe de (12-18%) :

Elle est essentiellement localisée sur les hauts piémonts de Djebel El Ghorra à l'Est et M'Sid au Sud, ainsi que djebel Souani qui fait limite entre le bassin de Cheffia et de Bouhadjar. Plus vers le Nord on la rencontre sur Djebel Bouabed et Djebel Bourdim (Mechtat Oum El Aguerb) au niveau du cordon dunaire, et à Djebel Ain Bagrat à L'Ouest. Cette zone connaît la même dynamique avec une intensité plus prononcée.

e : La classe supérieure à 18 % :

Cette classe localisée sur la partie amont de Djebel Ghorra à l'Est, Bled Djemaa El Guerfi à l'Ouest, plus au Nord à Kef El Naoura et Kaf El Kourate (bassin de Asfour) et au Sud sur Djebel M'Sid (Kef R'keb). Cette classe de pente synchronise aux escarpements rocheux des massifs gréseux.

2 : Réseau hydrographique :

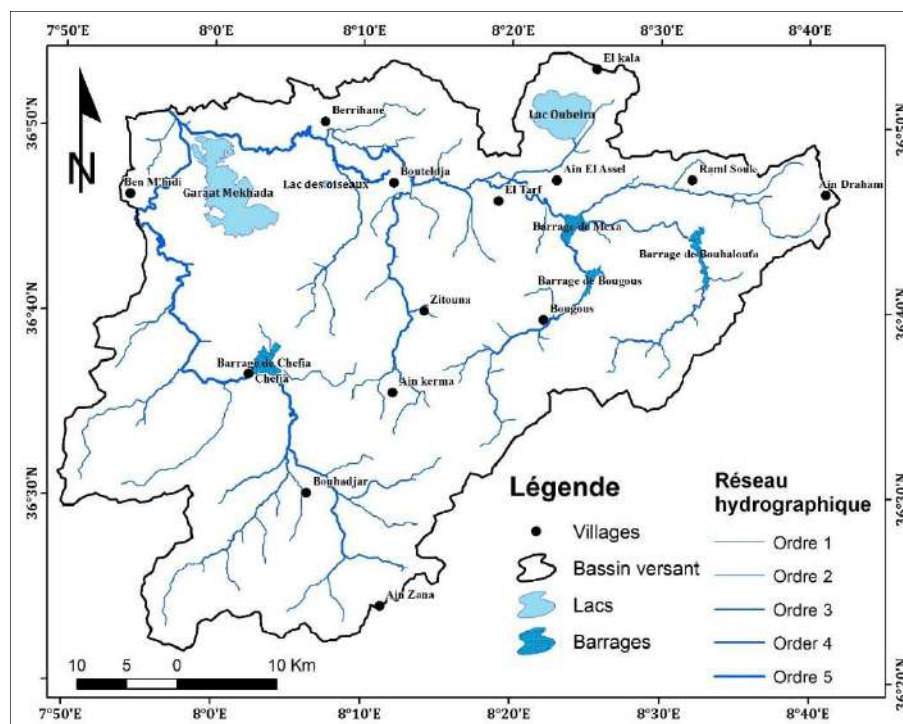


Figure 20: Carte de réseau hydrographique

Le réseau hydrographique (Fig. 20) fait référence aux caractéristiques géographiques et physiques de la plaine et des cours d'eau d'une région donnée. Dans le bassin versant de la Mafragh Le réseau hydrographique résulte de la jonction de deux principaux oueds ; l'oued Bou Namoussa et l'oued El Kebir Est, drainant une superficie totale de 2635.29 Km², la confluence forme l'oued Mafragh et lui donne la caractéristique d'exutoire du bassin versant vers la mer.

Tableau 11: Les longueurs d'ordres des cours d'eau dans le bassin versant de la Mafragh

N° d'ordre	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3	Ordre 4	Ordre 5
Longueur (km)	314.85	159.24	74.11	103.85	0.83

3 : Occupation du sol :

Le traitement de l'image satellitaire OLI de Landsat8 de deux dates (06/04/2016 et 14/09/2016) par ENVI 5.1 a permis d'identifier les différentes classifications de notre région d'étude (Nord-Est algérien). Il nous a permis d'obtenir la meilleure méthode de classification et la plus proche de la réalité.

En raison de la disponibilité des données relatives à l'occupation des sols au niveau des services concernés (Conservation des forêts et Directions des Services Agricoles, D.S.A) soit par Commune ou à l'échelle de Wilaya, nous étions obligée de faire ressortir les surfaces réellement intégrées dans notre aire d'étude, étant donné que l'espace physique du bassin versant de la Mafragh ne correspond pas à l'espace administratif de la Wilaya d'El Tarf. Cette dernière regroupe 24 communes, dont 20 sont situées dans le bassin versant de la Mafragh, excepté les communes de Dréan et Chbaita Mokhtar, qui se situent dans le bassin de la Seybouse. Par ailleurs, les communes de Besbes, Chihani Bachir et Chatt, chevauchent partiellement le bassin de la Seybouse et le bassin de la Mafragh.

De leurs côtés, les communes d'El Kala et de Souarekh se situent dans le sous-bassin des côtières d'El Kala qui fait avec la Mafragh la totalité des côtières Constantinois-Est. Par ailleurs, les communes de Berrihane, Raml-Souk et Laïoun empiètent partiellement le sous-bassin des côtières d'El Kala. Donc une partie de l'aire administrative de la Wilaya d'El Tarf, d'une surface de 639.75 Km², se trouve hors bassin versant.

3.1: Classification supervisée des images :

La thématique de notre travail se base sur la détermination des trois classes (*Couvert végétal, Sol nu et surface d'eau*). À l'aide de la reconnaissance des échantillons sur terrain, cela nous a aidés à effectuer la phase d'apprentissage par seuillage des nouvelles bandes calculées (NDVI) pour la discrimination de la végétation du sol nu. Par contre et pour plus de précision concernant les zones humides (surfaces d'eau) et vu leur nombre limité, on a réalisé une digitalisation manuelle au niveau des images Landsat8 pour les lacs étendus et sur des images Google Earth correspondants aux mêmes dates pour le lac Noir.

3.1.1 : Les matrices de changements :

Cette étude statistique a donné une estimation des changements de surfaces durant la période d'étude (Tab 12). Cette étape indique une diminution du couvert végétale et de surfaces d'eau par conséquent une augmentation du sol nu du printemps à l'automne.

Allant la période qui s'étale entre avril et septembre en remarque une diminution de végétation de 640.54 Km² de sa surface, soit une perte de 68.03 % de la surface initiale sous l'influence des activités agricoles dominantes dans cette région qui se présente essentiellement par les grandes cultures (céréales).

Tableau 12: Synthèse d'évolution de surfaces au cours de la période d'étude

Mois	Végétation		Sol nu		Surface d'eau	
	Surface	%	Surface	%	Surface	%
Avril	2003.81	76.03	534.19	20.27	97.29	3.69
Septembre	1363.27	51.73	1237.03	46.94	34.99	1.32

Pour le sol nu on remarque une augmentation dans sa surface de 702.84 Km² soit un gain de 56.81% de sa surface.

Une diminution aussi marqué dans les surfaces d'eau par 64.03% de sa surface initiale, cette diminution due aux facteurs climatiques (faibles précipitation pendant la période estivale des basses eaux).

D'après le tableau 13, on remarque que tous Les surfaces d'eau ont été en diminution continue, depuis le printemps (mois d'avril) jusqu'à l'automne (mois de septembre). Ces évolutions d'eau qui sont représentées par une diminution sont dues à leurs évaporations conduisant à une augmentation de leurs salinités. Et une diminution des apports de pluies pendant cette période Ces résultats montrent l'influence directe de facteurs climatiques sur les zones humides du bassin versant de la Mafragh.

Tableau 13: les variations des surfaces d'eau entre le mois d'avril et septembre.

Nom	Surface Avril (km ²)	Surface Septembre	Perte de surface	Perte en %
Lac oubeira	21.11	19.39	1.72	8.14
Lac mekhada	53.60	0.00	53.60	100.00
Lac noir	0.04	0.03	0.01	30.00
Lac des oiseaux	0.62	0.32	0.30	48.56
Barrage Chefia	8.08	6.33	1.75	21.65
Barrage Mexa	5.11	4.78	0.33	6.45
Barrage Bougous	2.62	2.04	0.58	22.13
Barrage Bouhalloufa	4.05	3.67	0.38	9.38

3.1.2 : La cartographie des changements :

La présentation de 2 cartes (Fig. 21 et 22) fait ressortir visuellement une nette évolution de surfaces de végétation entre (Avril – Septembre) dans la zone du bassin de la Mafragh. A l'aide du logiciel

ArcGis 10.1 on a réalisé les cartes d'évolution après extraction des différentes classes issues d'ENVI sous forme vecteurs (Shape files).

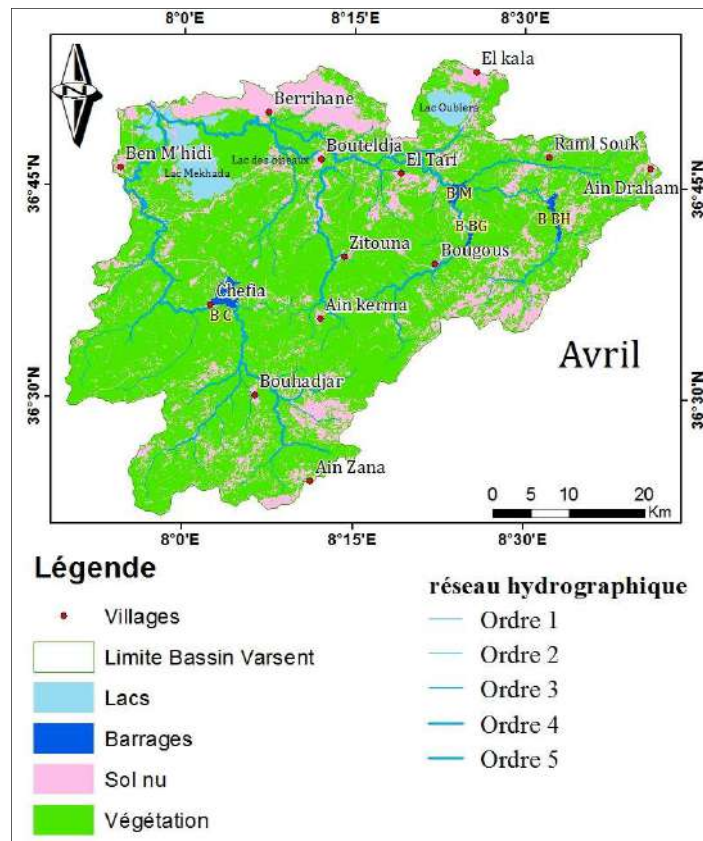


Figure 21: Carte d'évolution des zones humides (mois d'avril)

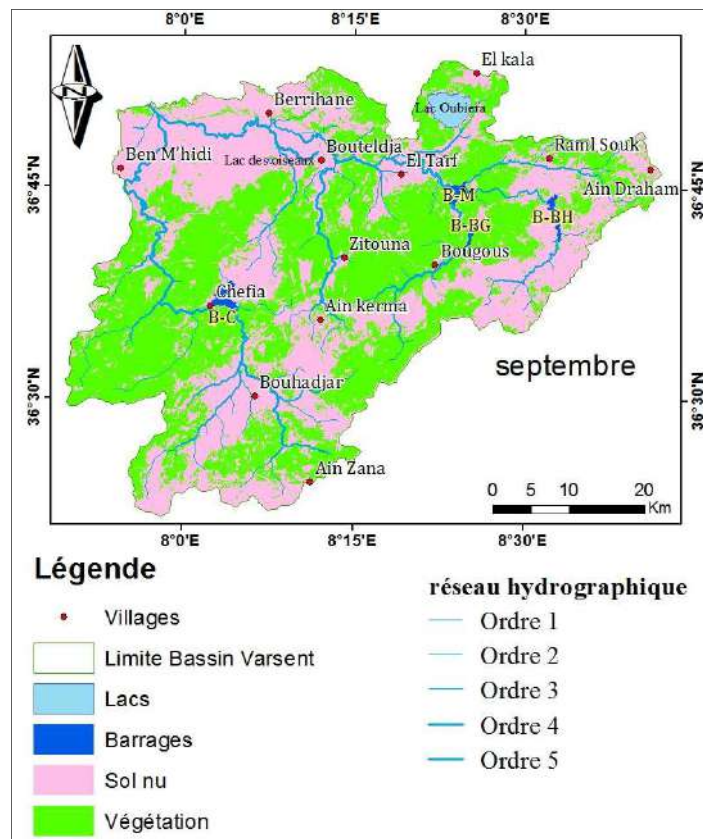


Figure 22: Carte d'évolution des zones humides (mois de septembre)

II: Hydrochimie:

L'étude hydro chimique permet d'évaluer la qualité des eaux après la détermination des caractéristiques physiques et chimiques, leur classement selon le chimisme qu'elles présentent, et d'orienter leur utilisation.

Pour cela nous avons essayé, dans un premier temps de faire le point sur la qualité des eaux de surface à partir des données des campagnes d'analyses chimiques des eaux des zones humides au niveau des lacs (lac Noir, garaat Mekhada, lac Oubeira, lac des Oiseaux), et des oueds ((oued Kebir amont, centre et aval), (oued Bounamoussa amont, centre et aval) et oued Mafragh) en deux périodes différentes : période des hautes eaux (avril 2016) et période des basses eaux (septembre 2016).

L'interprétation des analyses physico-chimiques de ces eaux va nous permettre de connaître leur qualité et le domaine d'utilisation.

1 : Description des résultats d'analyses chimiques de l'eau :

La statistique des analyses physico-chimiques des eaux superficielles du bassin versant de la Mafragh présente les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types dans le Tableau suivant .

Tableau n° 14 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux superficielles du bassin versant de la mafragh de deux dates (septembre et avril).

Paramètres		Mois	T°C	PH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	O ₂ (mg/l)	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Paramètres statistiques	Minimum	Avril	15.75	6.27	242	6.16	157	35.6	6.24
		Septembre	21.4	7.37	345	4.55	225	35.7	21.7
	Maximum	Avril	23.4	8.7	6260	13.60	3940	357	130
		Septembre	25.32	9.45	7190	9.75	4530	321.5	195
	Moyenne	Avril	19.98	7.99	1513.73	8.67	963.2	200.6	70.5
		Septembre	23.78	8.32	1440.09	7.87	915.7	122.1	74.05
	Ecart type	Avril	2.62	0.72	2053.14	2.32	1298	1006	42.7
		Septembre	1.45	0.75	2011.05	1.70	1265	81.49	49.37
Paramètres		Mois	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃	PO ₄
Paramètres statistiques	Minimum	Avril	49.65	4.6	105	21	28	23	0.03
		Septembre	43	2.9	54	54	42	28	0.7
	Maximum	Avril	392	51	353.8	247	115	51	7.20
		Septembre	392	46.5	214	195	136	49	5.6
	Moyenne	Avril	135.12	13.52	205	102.1	67.72	32.45	3.16
		Septembre	143.82	13.32	123.55	108	82.27	37.64	2.59
	Ecart type	Avril	128.8	13.22	67.77	72.39	31.43	8.36	3.07
		Septembre	130.04	14.12	48.20	45.59	38.97	7.95	1.54

1.1: Parameters physico-chimiques:

1.1.1: Potential hydrogène (pH):

Le pH (potentiel d'Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Le pH de neutralité est 7. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Castany, Margat, 1977).

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

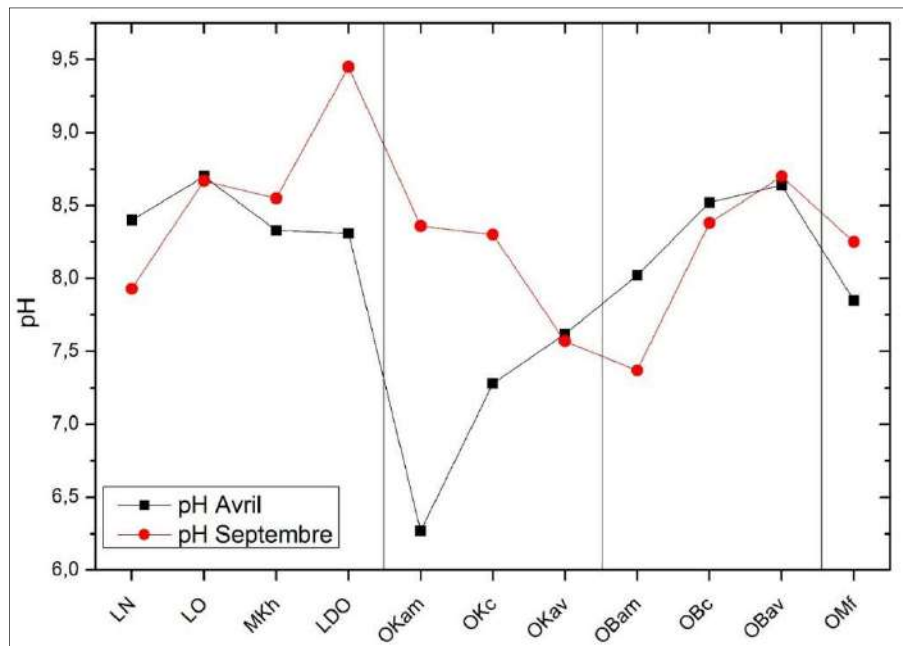


Figure 23: Variations spatiotemporelle du PH

Les valeurs du potentiel hydrique (pH) dans presque toutes les eaux de la région d'étude varient entre 7.25 et 8.70 dans les deux périodes des hautes eaux et des basses eaux, excepté le lac des oiseaux caractérisé par une valeur maximale de 9.45 dans la période des basses eaux. Par contre oued Kebir amont est caractérisé par une valeur minimale de 6.27.

1.1.2 : La conductivity électrique :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes, la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés d'électron, la mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, la conductivité est également en fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion.

Les résultats obtenus montrent que la majorité des valeurs de conductivité sont dans les normes de potabilité dans les deux périodes des bases eaux et des hautes eaux. Sauf oued Mafragh qui caractérise par de fortes valeurs (7190 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (bases eaux) et 6260 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (hautes eaux) cette forte minéralisation due à l'intrusion marine pour l'oued de la Mafragh et aussi lac Mekhada (5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (basses eaux) et 2600 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (hautes eaux) son eau est plutôt saumâtre ; sa minéralisation chimique, relativement élevée, est due d'une part à la présence d'argiles ocre salées et d'évaporites, d'autres part à leur liaison avec la mer par le biais de l'oued Mafragh.

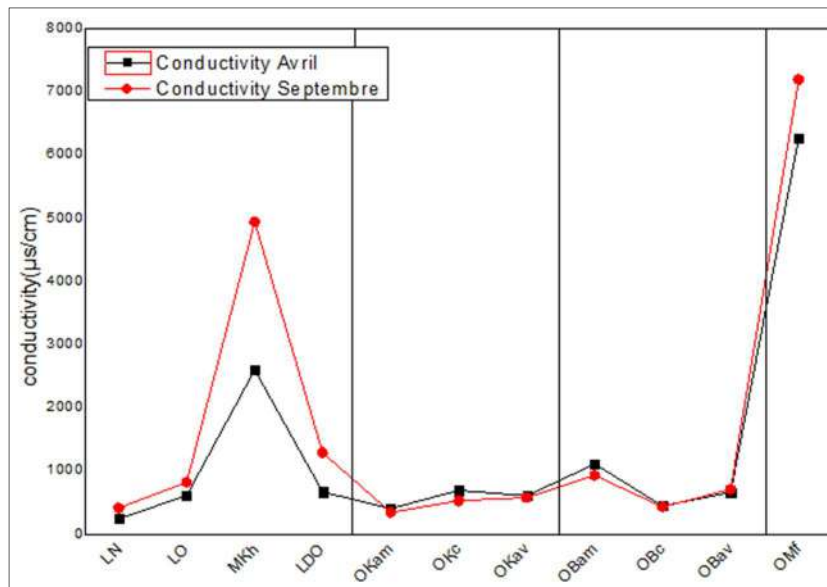


Figure 24: Variations spatiotemporelle de la conductivité électrique.

1.1.3: Température des eaux :

La température de l'eau joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans La dissolution des sels dissous donc sur la conductivité électrique.

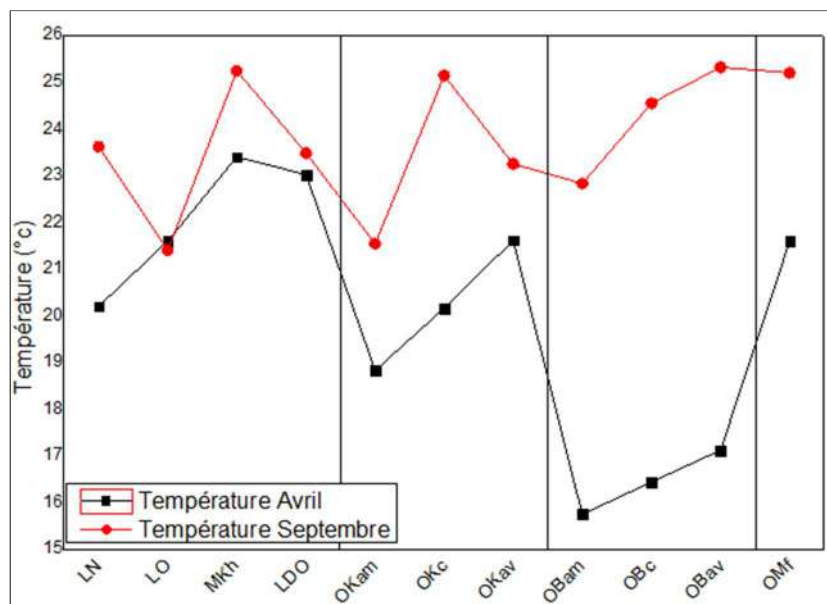


Figure 25: Variations spatiotemporelle de température.

La température des eaux varie dans le temps et dans l'espace avec une valeur minimum 15.75°C au mois d'avril enregistré dans l'oued Bounamoussa amont, elle augmente jusqu'à 25.32°C comme valeur maximale au mois de septembre représentée au niveau du lac Mekhada.

1.1.4: L'oxygène dissous (O₂):

Exprime la concentration en (mg/l) d'oxygène dissous, sa présence dans les eaux superficielles joue un rôle dans le maintien de la vie aquatique. La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux dégagements d'odeurs.

L'appauvrissement du milieu en O₂ dissous provoque le développement d'algues et végétaux ainsi que l'apparition de pollution bactériologique (Rodier, 1996).

Sa solubilité baisse avec l'augmentation de la température et sa densité diminue dans un milieu chargé en sel.

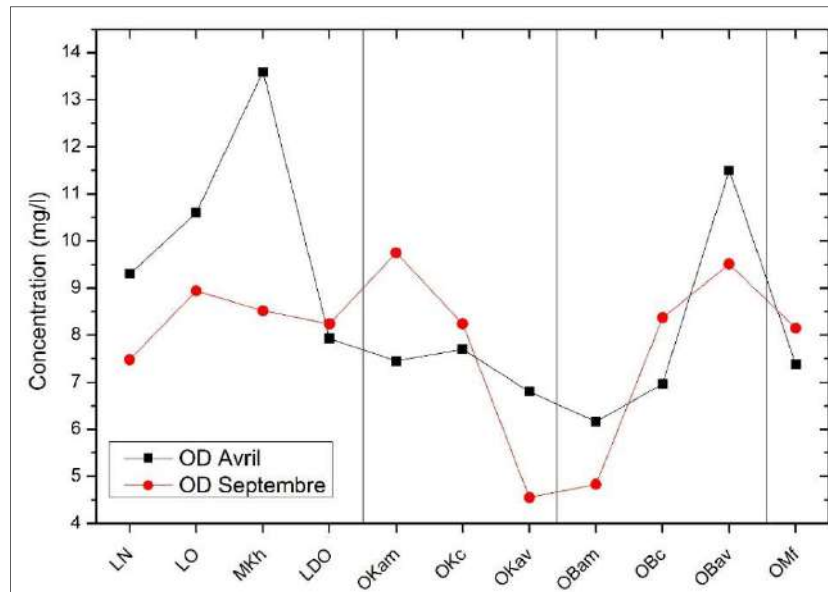


Figure 26: Variations spatiotemporelle de l'oxygène dissous

Les résultats obtenus au mois d'avril montrent que la concentration d'O₂ inférieure à 8 mg/l dans la majorité des points d'eau. La valeur maximale marquée dans le lac Mekhada 13.5 mg/l ainsi que l'oued Bounamoussa (11.5) mg/l. Indiquant que les eaux sont fortement Oxygénées.

Au mois de septembre la concentration de O₂ varie entre 7.5 et 9.5 mg/l avec une diminution de l'amont vers l'aval jusqu'à une valeur minimale de 4.5 mg/l dans oued Kebir. Cette variation est à l'origine des apports d'eau en période des hautes eaux.

1.1.5 : Les éléments majeurs :

La minéralisation de la plus part des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs on distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium, et les anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate et Bicarbonate.

a : Les cations :

- Le Calcium (Ca²⁺) :

Le calcium est un élément alcalinoterreux, leur présence dans l'eau (ions Ca⁺⁺) est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la dissolution des formations gypsifères (CaSO₄).

Selon le diagramme de l'évolution des cations au mois d'avril (Fig. 27) en remarque des fortes teneur en Ca²⁺ dans la majorité des points d'eau avec un valeur d'ordre de (350 mg/l) observée dans l'oued Mafragh à l'exception du lac Noir qui est caractérisé par une faible teneur de 35mg/l due à la forte dilution des ions par les apports des pluies.

Dans la période des bases eaux 3 points d’eaux sont caractérisés par des faibles teneurs en Ca^{2+} sont (lac Noir lac des Oiseaux et oued Kebir amont et centre)

- Le Magnésium (Mg^{2+}) :

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneurs en magnésium (magnésite et dolomite). (Debieche, 2002). L’évolution des teneurs de Mg^{2+} identique à celle du calcium dans les deux périodes des hautes eaux et des bases eaux, avec une différence entre les concentrations (les concentrations de Mg^{2+} inférieur à celle de Ca^{2+}). Les teneurs les plus élevées sont observées au voisinage des marais de la Mekhada et dans l’oued Mafragh (150 mg/l) en raison de la présence des évaporites (Khérici, 1993).

- Sodium (Na^+) :

L’origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et parfois à l’effet de l’intrusion marine.

Pour le (Na^+) on remarque que la majorité des points d’eaux se présentent avec des concentrations inférieur ou égal à 100 mg/l. Les valeurs élevées observées au Voisinage de la Mekhada et dans l’oued Mafragh (350 et 400 mg/l) pendant les deux périodes de prélèvement sont dues à la dissolution des formations évaporitiques). (Debieche, 2002 ; Khérici, 1993).

- Le Potassium (K^+) :

Le potassium provient dans notre région essentiellement de l’altération des argiles potassiques et des rejets urbains plus l’effet relatif de la dissolution des engrais chimiques (Labar, 2003).

Les valeurs observées montrent que la majorité des points ont des concentrations inférieures à la limite de potabilité dans les deux périodes avec un maximal de 20 et 50 mg/l au niveau des Mekhada et oued Mafragh au mois d’avril et (30 et 50) au mois de septembre.

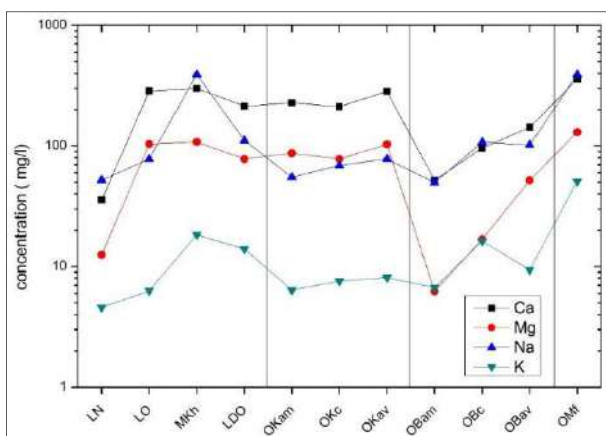


Figure 27: Diagramme de l’évolution des cations au mois d’avril

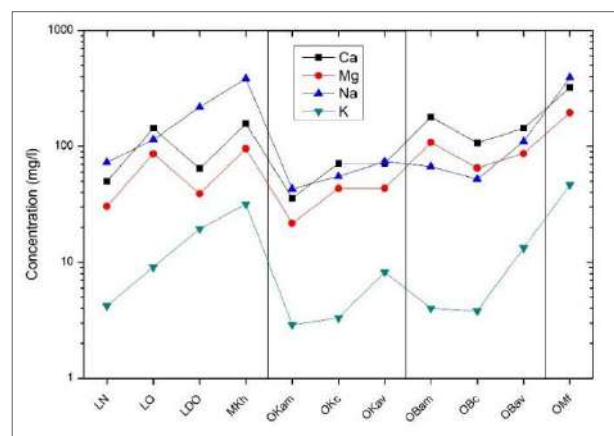


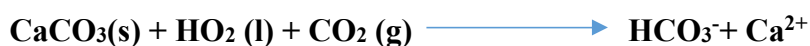
Figure 28: diagramme de l’évolution des cations au mois de septembre

b : Les anions :

- Les Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les ions de bicarbonates sont définis par les hydrogencarbonates et caractérisent essentiellement l'alcalinité des eaux naturelles.

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (Cipolin, Calcaire) par des eaux chargées en gaz carboniques. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les concentrations en bicarbonates sont de faible variations, elles varient de 100 à 350 mg/l considéré comme valeur maximale enregistrée au niveau du oued Bounamoussa centre. Ceci est dû essentiellement à l'apport en eaux pluviales.

- Les Chlorures (Cl) :

Les teneurs des chlorures atteignent des valeurs faibles inférieures à 100 mg/l dans la majorité des points d'eau. Ces variations sont probablement liées à la nature des terrains traversés et l'apport en eaux pluviales. Nous notons aussi une augmentation des chlorures durant la saison sèche, ces valeurs élevées proviennent de la dissolution des sels par lessivage de terrains, vu leurs forte solubilité. Et par l'effet de température.

- Les Sulfates (SO₄²⁻) :

Les teneurs en sulfates (SO₄²⁻) de l'eau exposent des valeurs distinctes entre les points d'eaux étudiées. La forte teneur enregistrer dans oued Bounamoussa centre (plus de 250mg/l) pour la période des bases eaux et la valeur élevée (200 mg/l) est notée dans l'oued Bounamoussa aval.

Ces fortes concentrations dans la majorité des puits peuvent être liées à la dissolution des formations gypseuses par lessivage des évaporites d'une part ou/et les apports anthropiques par les engrais chimiques sulfatés d'autre part.

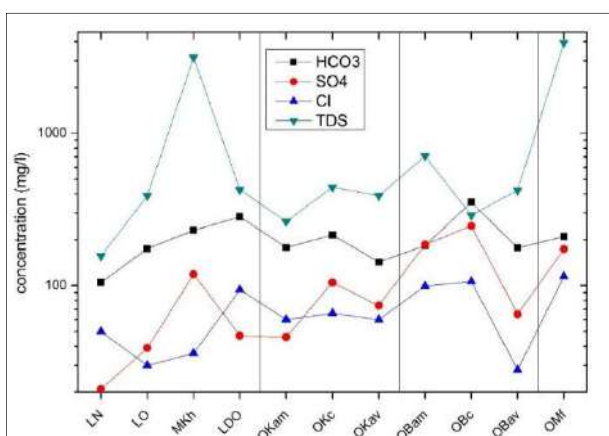


Figure 29: diagramme de l'évolution des anions au mois d'avril

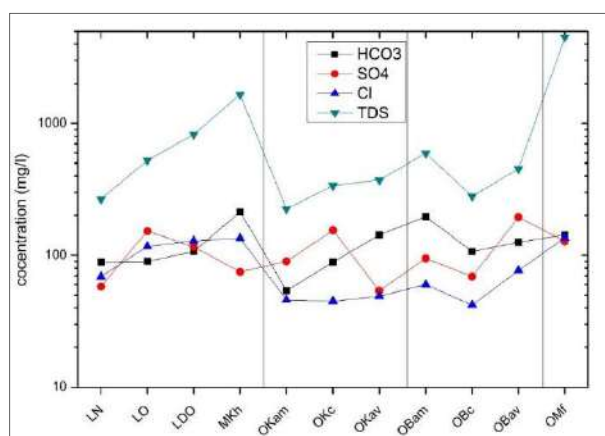


Figure 30: diagramme de l'évolution des anions au mois de septembre

1.1.6 : TDS (taux de salinité) :

Pour la plupart des point d'eaux en remarque des valeurs très élevées de TDS plus de 4000 mg/l marquée dans l'oued Mafragh et (3000 mg/l) dans le lac Mekhada due d'une part à la présence d'argiles ocre salées et d'évaporites, et d'autres part à leur liaison avec la mer par le biais de l'oued Mafragh

1.1.7: Les nutriments :

a : Les nitrates (NO_3^-) :

Représente la forme la plus oxygénée de l'azote, qui est une forme très soluble. Leur Présence dans l'eau est liée essentiellement à l'utilisation intensive des engrais chimiques, comme ils peuvent être aussi à l'origine des rejets industriels atmosphériques.

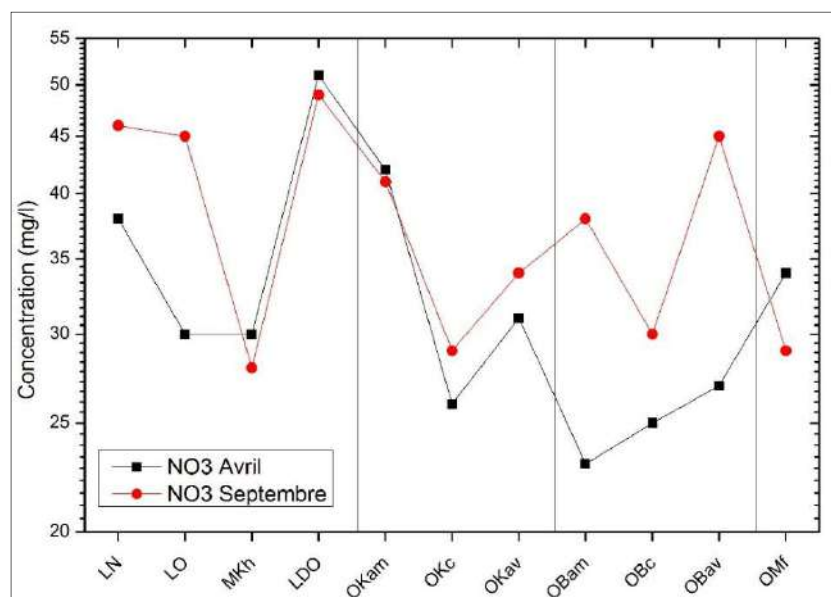


Figure 31: Diagramme d'évolution de NO_3^- .

Le diagramme d'évolution de NO_3^- montre que les concentrations de tous les points d'eaux sont inférieures à la limite de potabilité (50 mg/l) pendant les deux périodes de prélèvements sauf lac des Oiseaux (52 mg/l) au mois d'avril et (48 mg/l) au mois de septembre.

Ce qui indique une pollution de cette eau qui est liée à plusieurs facteurs dont le plus important est l'activité agricole où l'utilisation excessive des engrais contribue à l'augmentation des teneurs des nitrates.

b - l'Ortho-phosphate (PO_4^{3-}) :

Le phosphore est l'un des nutriments les plus importants dans la nature. Il représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues, des bactéries et des protozoaires.

Les teneurs en phosphate dépassent les normes de potabilité des eaux (0.5mg/l) dans la majorité des points de prélèvements pendant les deux périodes avec une valeur maximale de 7.2 mg/l.

La présence du PO_4^{3-} dans ces eaux est liée à la fertilisation intense des terres (engrais chimiques, engrais phosphatés utilisés aux activités agricoles), et à la décomposition de la matière organique des rejets urbains (Djabri, 1996).

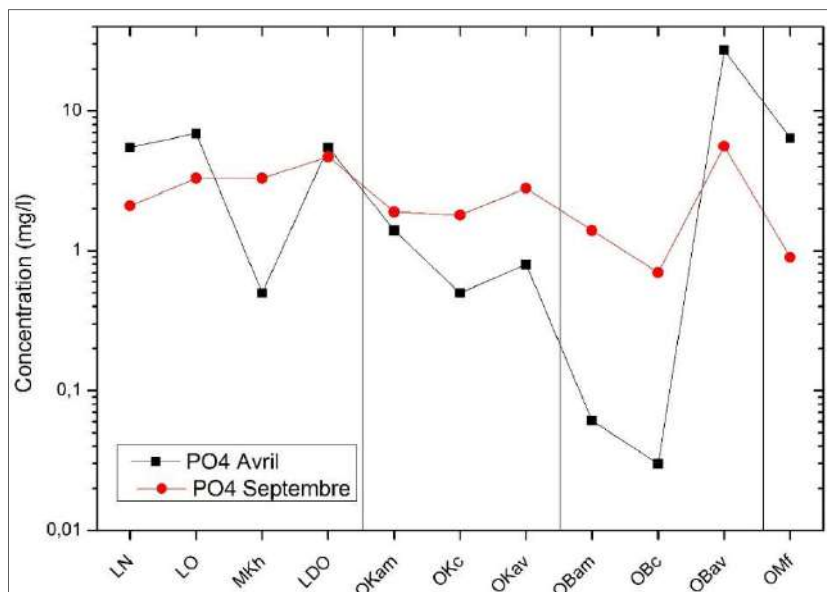


Figure 32: Diagramme d'évolution de PO_4^{3-} .

1.2: Faciès chimiques des eaux :

1.2.1 : Formule ionique :

Le traitement des analyses chimiques des eaux de l'année 2016 a permis de déterminer pour chaque analyse considéré un faciès chimique. L'ensemble de ces résultats est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 15: formule ionique et faciès chimique des eaux d'Avril 2016

Points d'eau	Formule ionique	Faciès chimique
Lac Noir	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $(rNa^+ + rK^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté sodique
Lac Oubiera	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté calcique
Lac Mekhada	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^-$ $rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté calcique
Lac des Oiseaux	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $(rNa^+ + rK^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté sodique
Oued Kebir amont	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté et Chloruré calcique
Oued Kebir centre	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté calcique
Oued Kebir aval	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté et sulfaté calcique
Oued Bounamoussa amont	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté calcique
Oued Bounamoussa centre	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^-$ $rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté calcique
Oued Bounamoussa aval	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Bicarbonaté calcique
Oued Mafragh	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Bicarbonaté et Sulfaté calcique et sodique

Tableau 16: formule ionique et faciès chimique des eaux de septembre 2016

Points d'eau	Formule ionique	Faciès chimique
Lac noir	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$ $(rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré sodique
Lac oubiera	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Chloruré sulfaté calcique magnésien
Lac mekhada	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$ $(rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré Bicarbonaté sodique
Lac des oiseaux	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $(rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré sodique
Oued kebir amont	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$ $(rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Sulfaté sodique
Oued kebir centre	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^-$ $rMg^{2+} > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Sulfaté magnésien et calcique
Oued kebir aval	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ $rMg^{2+} > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté magnésien et calcique
Oued bounamoussa amont	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rMg^{2+} > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté magnésien et calcique
Oud bounamoussa centre	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$ $rMg^{2+} > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté magnésien et calcique
Oued bounamoussa aval	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$ $rMg^{2+} > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	sulfaté magnésien et calcique
Oued mafragh	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $(rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré sodique

Les formules ioniques ont permis d'établir le faciès chimique pour chaque analyse. Les eaux du mois d'avril ont été classé en six (06) faciès chimiques, le plus dominant le Bicarbonaté-Calcique.

Pour les eaux du mois de septembre les faciès chimique dominants sont le chloruré sodique qui sont marqués dans le lac Noir, lac des Oiseaux et oued Mafragh, ainsi le faciès Bicarbonaté magnésien calcique dans les eaux de oued Kebir aval, oued Bounamoussa amont et centre.

1.2.2 : Diagramme de piper :

Le diagramme de Piper permis la visualisation d'un grand nombre d'analyse et de suivre l'évolution du chimisme des eaux.

La représentation des analyses chimiques de l'eau sur le diagramme de piper permet de différencier les familles d'eaux. L'examen des représentations graphiques obtenues, permet de déduire les interprétations suivantes :

Dans le triangle des cations au mois d'avril :

Le Calcium est dominant par rapport au Sodium et ou Magnésium pour le lac Oubeira, lac des Oiseaux, oued Kebir centre et oued Bounamoussa centre et aval.

Le Sodium est dominant par rapport au Calcium et ou Magnésium pour lac Noir, lac Mekhada, oued Bounamoussa centre, Oued Mafragh. On remarque un changement de l'amont vers l'aval pour l'oued Kebir et oued Bounamoussa. Ces variations sont probablement liées à la nature des terrains traversés.

Dans le triangle des anions au mois d'avril :

Le HCO_3^- est dominant par rapport aux SO_4^{2-} et ou Cl^- pour la majorité des points d'eau sauf oued Kebir amont et oued Bounamoussa amont, la dominance de HCO_3^- due à la pluviométrie joue un rôle pour la dissolution des formations carbonatées.

Dans le triangle des cations au mois de septembre :

Le Na^+ dominant par rapport aux autres cations dans le lac Noir, lac des Oiseaux, oued Kebir amont due à la précipitation des sels sous l'effet de la température.

Le Mg^{2+} est dominant par rapport aux autres cations aux niveaux des (oued Kebir centre et aval et oued Bounamoussa amont, centre et aval).

Dans le triangle des anions au mois de septembre :

Le Cl^- dominant par rapport aux autres cations aux niveaux des lacs (Noir, Oubeira, Mekhada et lac des Oiseaux) et oued Mafragh.

Le HCO_3^- dominant aux niveaux d'oued Kebir aval et oued Bounamoussa amont et centre.

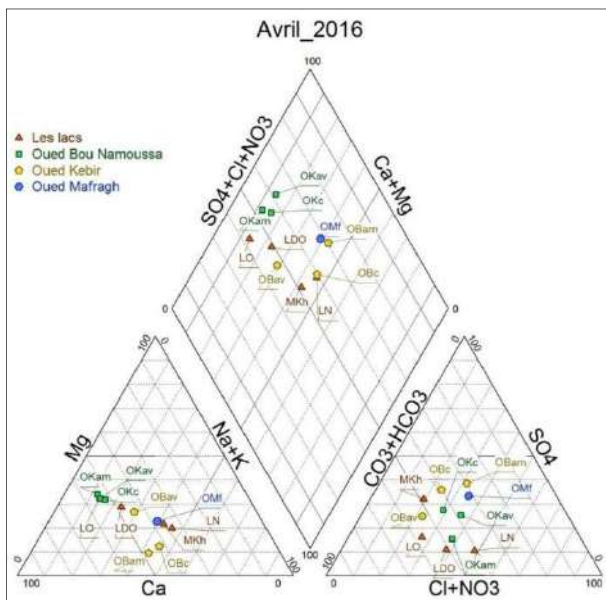


Figure 33: Faciès chimique du mois d'avril

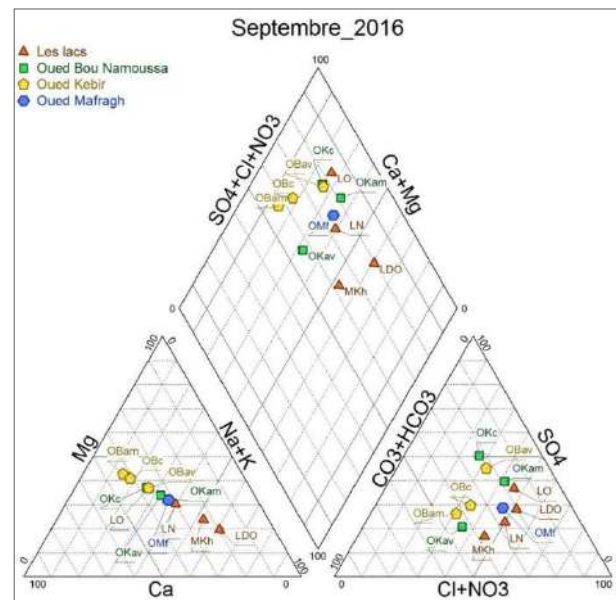


Figure 34: Faciès chimique du mois de septembre

2 : Aptitude des eaux à l'irrigation :

Le bassin versant de la Mafragh s'étale sur une superficie de plus de 2635.29 km, dont la plus grande partie est à vocation agricole. Cette activité agricole demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures.

Une étude chimique détaillée des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques pour les plantes tiennent compte non seulement des caractères chimiques de l'eau, mais également de la nature des cultures, du type de sols, du climat, des méthodes d'irrigation et des propriétés de drainage du sol.

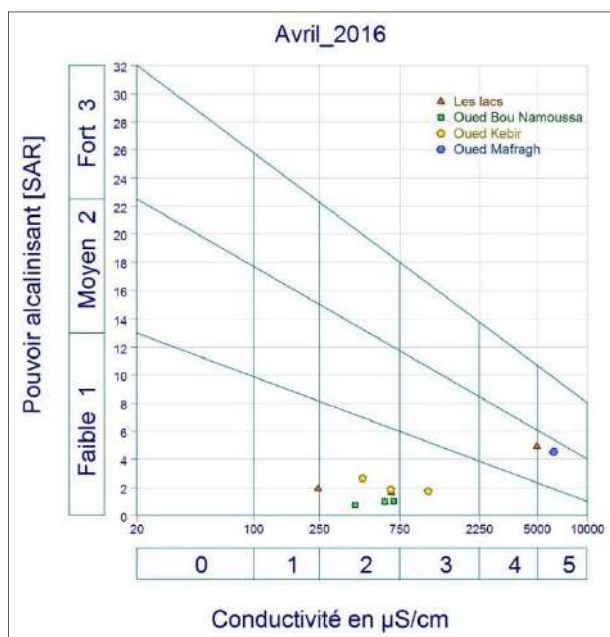


Figure 35: Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Riverside, mois d'avril)

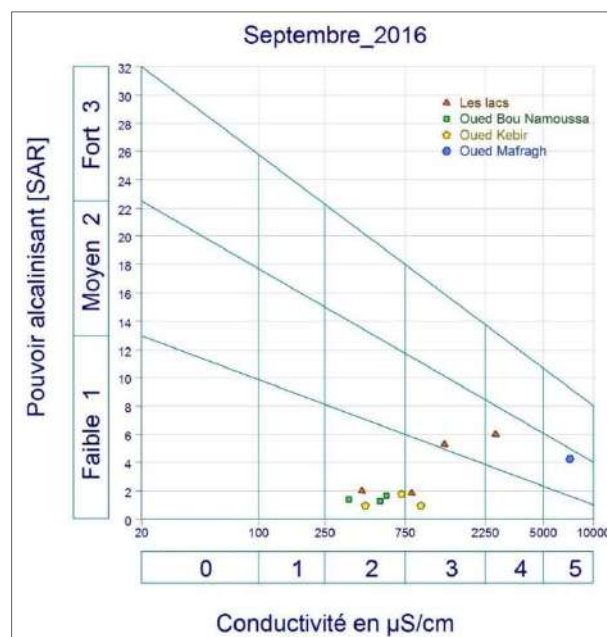


Figure 36: Classification des eaux à l'irrigation en fonction du SAR (diagramme de Riverside, mois de septembre)

D'après les deux diagrammes de Riverside des hautes et basses eaux on a remarqué que la majorité des eaux de notre région appartiennent généralement à la deuxième classe dont le risque de salinisation est faible, sauf l'oued Mafragh et lac Mekhada qui appartiennent à la cinquième classe au mois d'avril et cinquième et quatrième classe au mois de septembre dont le risque de salinisation est fort. Il ressort de cette classification que dans l'ensemble, les eaux sont d'une bonne qualité pour quelques points) et admissible pour d'autres points et mauvaise pour l'oued Mafragh et lac Mekhada.

3. L'indice de saturation :

D'après les indices de saturation vis-à-vis des minéraux considérés on a remarqué que :

- Le groupe des carbonates présente des degrés de saturation différents : la Dolomite est et la Calcite souvent à l'état de sursaturation pour tous les points pendant les deux périodes à l'exception du oued Kebir amont qui est sous saturation au mois d'avril.
- Le groupe des évaporites : les eaux sont sous-saturées pour l'Anhydrite et le Gypse. La Halite et la Sylvite sont largement sous saturées vis-à-vis le Gypse et l'Anhydrite. Les minéraux évaporitiques présentent toujours un état de sous-saturation même si les ions Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont à forte concentration, vu leurs forte solubilité.

L'indice de saturation montre que les minéraux carbonatés tendent à précipiter sous la forme de Dolomite, de Calcite et d'Aragnonite. Par contre, les minéraux évaporitiques, cas des Gypses, d'Anhydrite, d'Halite et de Sylvite tendent à la dissolution.

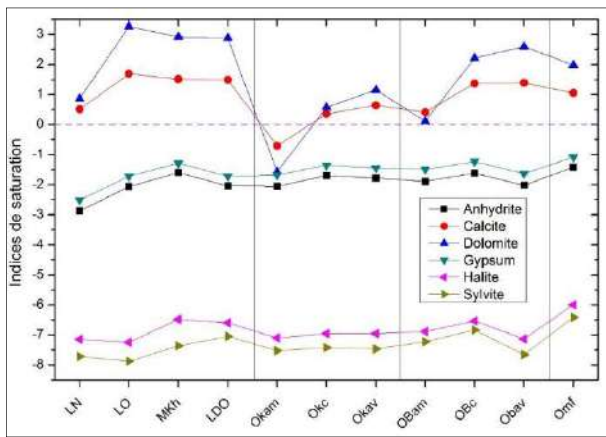


Figure 37: variation de l'indice de saturation (mois d'avril)

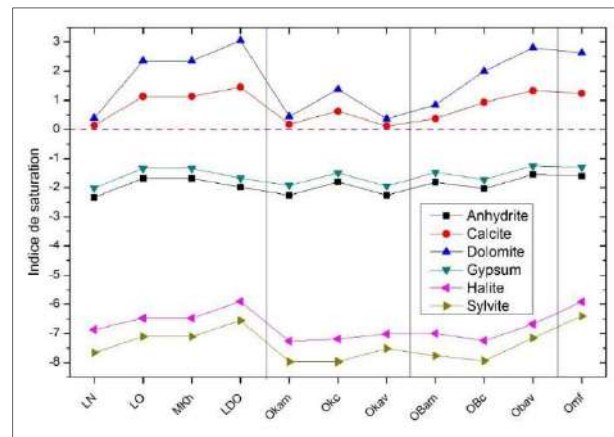


Figure 38: variation de l'indice de saturation (mois de septembre)

Conclusion :

Dans cette partie la délimitation du bassin versant et l'extraction du réseau hydrographique ainsi que la réalisation de la carte des pentes par utilisation des images MNT, ont pu quantifier le drainage des eaux de surface et leurs parcours dans le bassin.

Les cartes de classifications des 2 périodes (Avril et Septembre 2016) nous ont donné deux types de résultats qui sont la matrice de changement quantifiant les surfaces d'occupation du sol et leurs évolutions spatio-temporelles et la cartographie pour identifier les zones de changements.

Donc la diminution du couvert végétal dans ce bassin montre une diminution importante par les récoltes et le labour des exploitations agricoles. Elle est la principale source de l'économie de la population de la région.

Les résultats obtenus dans la région d'étude montrent que les eaux du bassin sont douces principalement d'origine pluviale, à l'exception de deux points au niveau de l'exutoire qui sont :

- Garaat Mekhada qui représente une étendue marécageuse en aval d'oued Bounamoussa par leur stagnation dans cet endroit dépressionnaire avec une conductivité très élevées.
- Oued Mafragh qui représente l'exutoire du bassin versant et l'embouchure avec la mer d'où leurs contact a interface eau douce/eau salée augmentant la salinité d'oued surtout en période estivale.

L'interprétation de l'évolution des teneurs en nitrates, met en évidence une dégradation de l'état naturel des eaux de surface qui indique la pollution de cette eau qui est liée à plusieurs facteurs :

- L'activité agricole au niveau des plaines et au voisinage des oueds où l'utilisation excessive des engrais contribue à l'augmentation des teneurs des nitrates et phosphates.
- Les eaux de l'irrigation et celle de la pluie jouent un rôle majeur dans le transport des ions du nitrate et phosphates du sol vers l'exutoire du bassin versant (oued Mafragh).

Malgré cette diversité chimique, les eaux restent généralement aptes aux exploitations agricoles, à l'exception d'oued Mafragh et lac Mekhada qui sont mauvaises.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les zones humides représentent les meilleurs exemples d'écosystème du point de vue de leurs fonctions biologique : productivité biologique, habitat et richesse écologique pour les espèces animale et végétale, leur fonctions écologique et hydrologique et de leur importance socio-économique (RAMSAR, 1994).

Le bassin de la Mafragh situé à l'extrême Nord-Est algérien d'une superficie de 2635.72 Km², ce bassin est de forme allongée caractérisé par deux principaux sous bassins Kébir-est et Bounamoussa. Il est défini par deux ensembles morpho-structuraux :

- La nappe numidienne est caractérisée par les grès Numidiens qui longent toute les collines de la vallée Mafragh.
- Les formations récentes d'âge quaternaires qui remplissent les bas-fonds des collines, les basses plaines et les zones plates du bassin favorisent la stagnation des eaux superficielles, ce qui permet en périodes pluvieuses l'apparition de surfaces d'eaux stagnantes temporaires.

Au cours de l'année, les zones humides (lacs et marécages) du bassin versant de la Mafragh passent par des changements majeurs. Les changements des surfaces d'eau (la diminution et l'augmentation du niveau d'eau) et les changements de qualité. Ces changements montrent l'influence directe des facteurs climatiques et anthropique sur les zones humides de cette région. À travers ces changements saisonniers au cours d'une année, nous notons que les facteurs climatiques qui jouent le rôle important sont la température et les précipitations. Selon les données climatiques, on a constaté que la région d'étude a un climat subhumide 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 de l'évolution spatiotemporelle des zones humides du bassin versant basé sur les cartes réaliser par les logicielles (ArcGis, ENVI ... etc.)

L'utilisation des images MNT nous a permis la délimitation, la quantification et l'extraction du bassin versant ainsi que leur réseau hydrographique. Ceci nous a permis le lien entre les paramètres climatiques et la topographie du terrain et le drainage hydrographique. Mais l'évolution des surfaces de plan d'eau on a pu la quantifié par un suivi saisonnier durant l'année 2016.

La réalisation des cartes d'occupation du sol par la classification des deux périodes (Avril et Septembre 2016) nous ont donné une quantification et une répartition spatiale des surfaces d'eau et de végétation. L'étude des changements des états de surfaces quantifie et localise leurs évolutions spatio-temporelles. Donc la diminution du couvert végétal dans ce bassin ce traduit par les récoltes et

le labour des exploitations agricoles. Cette dernière représente la principale source de l'économie de la population de la région. Les surfaces d'eau ont aussi montrés une diminution continue, depuis le mois d'avril jusqu'au mois de septembre. Ces évolutions d'eau sont dues à une diminution des apports par les précipitations pendant cette période et leurs évaporations. Ceci montre l'influence directe des facteurs climatiques sur les zones humides du bassin versant de la Mafragh.

La qualité des eaux de surface présente une qualité apte à l'irrigation pour les exploitations agricoles, à l'exception d'oued Mafragh et lac Mekhada qui sont mauvaises. Cette dégradation de cette qualité à ce niveau aval et exutoire, met en évidence une dégradation liée aux activités agricoles au niveau des plaines et au voisinage des oueds où l'utilisation excessive des engrais contribue à l'augmentation de la salinité et les teneurs des nitrates et phosphates. Aussi les eaux d'irrigation et celle des précipitations jouent un rôle majeur dans le transport des ions du sol vers l'aval du bassin versant.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- Affoun Samia. 2006** : Ressources en eaux mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la mafragh. mémoire de magister univ. Constantine. 223p.
- Aoun sbaiti badra. 2010** : gestion optimisme des ressources en eau d'une nappe cotiere (application à la plaine d'annaba (nord -Est algérien).Thèse pour obtenir le grade de doctorat .univ de Lille.211p.
- Atlas. 2004** : des 26 zones humides algériennes d'importanes international.
- Belhamra-A. 2001** : Contrôle de la salinité des eaux du lac Fetzera jusqu'à la mer .Mém de Magistère Univ.Annaba.111 P.
- Belhannachi Aida. 2003** : Etude hydrologique et hydrochimique dans les bassins versants du Nord-Est Algérien (Bassin de la Seybouse, Kébir Est, Kébir Ouest et Saf-Saf) Mémoire Magister,Univ d'Annaba. 138 P.
- Benslema mohamed. 2007** : les sols du complexe humide de l'algérie nord oriental (formation organisation et évolution).
- Boukhnouna sabah. 2008** : impact de l'oued bounamoussa sur la qualité des eaux de la nappe alluviale d'elasfour (wilaya d'etaraf).
- Boumaaraf warda. 2010** : Cartographie et impact de la qualité des eaux dulac Oubeïra sur la relation sol-végétation (Parc National d'El Kala) 82p.
- Brahmia zahra. 2002** : Rôle fonctionnel du lac Oubeira et du lac Mellah (parc national d'El-Kala) pour les oiseaux marins. Mémoire de majister 101p.
- Debieche T.H. 2003** : Evolution de la qualité des eaux saline azotées et métaux lourds sous L'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la base plaine de la Seybouse N-E Algérien. Thèse de Doctorat U.F.R des sciences et techniques de l'Univ.de France, comté. Paris. 199 P.
- Derradgi F. 2004** : Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région d'Annaba-El Tarf (Nord Est de l'Algérie), Thèses de doctorat, Univ d'Annaba.
- Djidel mohamed et Belkacem Aisani. 2011** : réalisation des cartes d'occupation du sol par l'application du Envi 4.7 (Cas de la cuvette de Ouargla (Sud-Est algérien))
- Djidel Mohamed. 2004** : Etude hydrochimique des nappes côtières cas des nappes du littoral d'Annaba-El Kala (Nord-Est algérien) mémoire de majister univ d'annaba.127p.
- Energ - Project -E.N.H.Y.D. 1992** : Etude de l'Aménagement Hydro-Agricoles de la Plaine D'El Tarf. Analyse des ressources en eaux. Hydrologie, dossier I-C, II-C, volume définitif I-C-1.

- FISLI Zoulaikha. 2006** : Essai d'approche Hydro-éco régionale de la zone lacustre d'El Kala (Nord-Est Algérien) mémoire de majister univ d'annaba 151p.
- Joleaud L. 1936** : Etude géologique de la région de Bône et de la Calle, Ed Imp. La Typo- et Jules Carbonnel Réunies.
- Handouzi Mohamed Ali. 2011** : Evolution du chimisme des eaux du barrage Mexanna (Nord-Est Algérien).mémoire de majister.univ d'annaba.140p.
- Gherzouli chahrazed. 2013** : Anthropisation et dynamique des zones humides dans le nord-est-algerien : apport des études palynologiques pour une gestion conservatoire .Thèse de doctorat univ de toulouse .208p.
- Kherici N. 1993**: Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafragh) Nord-Est Algérien, Univ d' Annaba.
- Labar sofiane. 2003** : Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physico-chimiques des eaux stagnantes temporaires dans la vallée de la Mafragh « Extrême Nord Est Algérien».mémoire de majister univ de annaba .155p.
- Marre A. 1987** : « Le Tell Oriental Algérien de Collo à la Frontière Tunisienne », Etude Géomorphologique, Volume 1, Office Des Publications Universitaires.
- Nouacer R. 1993** : Essaie de synthèse des caractéristiques hydrologiques et hydro chimiques de la nappe du massif dunaire de Boutheldja, Thèse de Magister, Univ d' Annaba.
- Raachi mohammed lamine. 2007** : étude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du lac tonga au nord Est-algérien mémoire du Maitrise univ du Québec à montréal 188p.
- Ramdani R. 1996** : Etude hydrologique et simulation par modèle mathématique de la nappe dunaire de la région de Boutheldja, Thèse de Magister, Univ d'Annaba.
- Saadali badreddine, El Fadel Derradji, Toufik Saboua, Raouf Remita & Faouzi Zahi. 2015** : Impact de l'activité anthropique sur la dégradation de l'environnement et sur la qualité des eaux : cas du parc national d'El Kala (Nord - Est Algérien). Rev Sci. Technol., Synthèse 30. 10p.
- Sadoune Abdelaziz. 2012** : Vulnérabilité, et évaluation des ressources en eau dans l'extrême Nord-Est algérien (Annaba-el teref) .mémoire de majister .98p.
- Seghir karima. 2008** : Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous-système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien).Thèse de doctorat univ de tebessa.151p.

Tellali yakota. 2016 : Contribution à l'étude hydrogéologique, hydro chimique de la plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien).63 p.

Villa J. M. 1980 : La chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des Confins Algéro-tunisiens, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).

Zaida F. Hassad A H. 2002 : L'inventaire et l'actualisation de la ressource en eaux de surface et souterraines du bassin versant de la Mafragh, Mémoire d'ingénieur en Hydrogéologie, Univ d'Annaba.

ملخص

المناطق الرطبة عبارة عن فضاءات انتقالية بين الأرض والماء. هذه الفضاءات تختلف حسب طبيعتها ووظيفتها تلعب دورا معتبرا في المحافظة على التنوع البيولوجي وتسيير الموارد المائية. الشمال الشرقي الجزائري يضم عدد كبير من هذه المناطق على شكل بحيرات وسدود والتي تصنف كمناطق رطبة حسب اتفاقية رمسار في 1971.

معظم هذه المناطق الرطبة تبدي تغيرات حسب المكان والزمن. هذه التغيرات ترتبط بعوامل طبيعية من جهة وبشوية من جهة اخرى الهدف من هذه الدراسة هو استخدام بيانات الاستشعار عن بعد والمعطيات الميدانية لإنجاز خرائط سطح المياه، والمنحدرات، والغطاء النباتي وتطورها في الزمان والمكان. و كذلك تأثيرها على نوعية المياه السطحية للحوض. عموما المياه السطحية للحوض صالحة للسقي والإستغلالات الزراعية لمساحة تقدر ب 640 كلم² ماعدا واد مفرغ وبحيرة المخدة فمياهم غير صالحة للاستعمال. هذا التراجع في النوعية على مستوى المنبع والمصب، يسلط الضوء على أن هذا التدهور متعلق بزيادة الملوحة والزراعة في السهول وعلى مقربة من الأودية. كما تظهر المسطحات المائية انخفاض موسمي من 58 كلم² أي بنسبة 30 ٪ من المساحة الإجمالية الأولية في افريل.

كلمات مفتاحية: مناطق رطبة، التنوع البيولوجي، الاستشعار، م ن ث، تلوث

Résumé

Les zones humides jouent un rôle considérable dans la préservation de la biodiversité et la gestion des ressources en eau. Le Nord-Est algérien recèle un grand nombre de ces zones (lacs, marécages, barrages), elles sont classées comme des zones humides selon la convention Ramsar en 1971. La plupart de ces zones humides montrent des changements spatio-temporels qui sont liés aux facteurs naturels d'une part, et anthropiques d'autre part.

L'objectif de cette étude est d'utiliser la télédétection, et les données de terrain pour la réalisation des cartes de surface d'eau, des pentes et de végétations de leurs évolution dans le temps et l'espace ainsi que leurs influences sur la qualité des eaux de surface du bassin.

Généralement les eaux de surface du bassin versant présente une qualité apte à l'irrigation pour les exploitations agricoles d'une surface de 640 km², à l'exception d'oued Mafragh et lac Mekhada qui sont mauvaises. Cette dégradation de cette qualité à ce niveau aval et exutoire, met en évidence une dégradation liée à l'augmentation de la salinité et aux activités agricoles au niveau des plaines et au voisinage des oueds. Aussi les surfaces d'eau montrent une diminution saisonnière de 58 km² (30%) de leur surface totale initiale en avril.

Mots clés : zones humides, biodiversité, télédétection, MNT, pollution.

Abstract:

Wetlands are areas of transition between land and water. These environments, which are very different in nature and function, play a significant role in preserving biodiversity and managing water resources. Algeria's northeast contains many of these areas (lakes, dams), and are classified as wetlands according to the Ramsar Convention in 1971.

Most of these wetland watches change spatio-temporally. These changes are related to natural factors on the one hand and anthropogenic on the other hand.

The objective of this study is to use remote sensing, and field data for the realization of water surface maps, slopes, and vegetation of their evolution in time and space. This degradation of this quality at this downstream and outlet level reveals a degradation linked to the increase in salinity and agricultural activities in the plains and near the wadis. Also, water surfaces show a seasonal decrease of 58 km² (30%) of their initial total area in April.

Key words: Wetlands, biodiversity, remote sensing, MNT, pollution

