

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila**  
**Institut des Sciences et de la Technologie**  
**Département des sciences et Techniques**



N° Ref :.....

**Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Spécialité : Sciences Hydrauliques**

**Détermination de la qualité des eaux de surface de  
la retenue collinaire d'Oued El Kaim (W.Mila).**

**Réalisé par :**

**-BENNACER Qamra**

**-BOUHALLAS Dounia**

**Soutenu devant le jury :**

<b>Mme</b>	<b>DIB. Imène</b>	<b>M.A.B</b>	<b>CUAB</b>	<b>Président</b>
<b>Mr</b>	<b>KABOUR. Abdeslam</b>	<b>M.A.A</b>	<b>CUAB</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr</b>	<b>KEMOUKH. Sami</b>	<b>M.A.A</b>	<b>CUAB</b>	<b>Promoteur</b>

**Année universitaire : 2015/2016**



# Dédicace

**Je Didier se travail a tous ceux qui ont été toujours présenté pour moi :**

✚ A ma très chère mère **Nadjette** ; *Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

✚ A mon très cher père **Sebti** ; *Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*



✚ A mon mari **Kacem Tahar** : *Quand je t'ai connu, j'ai trouvé l'homme de ma vie*



✚ A mon très cher frère **Youcef**, son épouse **Imen** et leurs petit fils **Abderrahmene**.

✚ A mon très chère sœur **Mebarka**, son mari **Djallel** et leur petit fils **Taha Amine**.

✚ A mon petit cher frère **Ahmed** ; *Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, deréussite et de sérénité.*

✚ A toute la famille << **Bennacer** >>, << **Benkhallef** >> et << **Benhorra**>>.

✚ A mes amies : *Dounia, Hadjer, Amina, Faiza, Marwa.*



**Qamra**

# Dédicace

## JE DEDIE CE TRAVAIL

- A mes défunts père, et grand-père –

, - A ma mère pour son affection, et ses prières. Vous toujours été à mes cotés, pour me conseiller, et m'aider. Puisse le Tout Puissant prolonger votre vie afin que vous bénéficiiez des fruits de vos efforts.

A mes grands-parents à Yilou pour leurs prières quotidiennes formulées pour moi. –

A mes Frères : Amélie Kiswensida, Daniel Sidpassambé Eric, Evariste Boblewindé Guy, Ariane Pengwendé Eudoxie, Isabelle Catherine, Sanata, et Marc Bénéwendé. –

A mon oncle Mr. Arsène SONGNABA et à toute sa famille pour leur soutien moral, matériel, spirituel et financier au quotidien.

- A mon tonton Mr. Timothée SAWADOGO et à toute sa famille pour m'avoir hébergé et soutenu ces cinq années.

- A mes camarades de promotion : Mbacké, Niang, Khalla, Lamine, Beranrd, Tourki, Marie Jeanne, Seynabou, Mariame, Souley, Tall, Serigne, Soumano, Molah Faye, Arsène Mokoko et Keita

# Dédicace

. - A mon amie : Léticia Bénéwendé SAKANA. - A tous mes cousins, cousines, neveux et nièces

. - A tous mes Amis.

Ce travail est le vôtre !

# Dédicace

**Je Didier se travail a tous ceux qui ont été toujours présenté pour moi :**

- ✚ A **mon dieu** qui le plaisir de tous ca.
- ✚ A ma chère mère **HABIBA** pour son affection, vous toujours été a mes cotes pour mes conseiller et aider, puisse le tous puissant prolonger votre vis afin que vous bénéficier des fruit de votre efforts.
- ✚ A mon très chère père **MOHAMMED** qui ma beaucoup aider moralement et ma soutenue financièrement.
- ✚ A ma grande chère mère **YAMINA** qui ma encourager par leur prière quotidienne formuler pour moi.



- ✚ A mon seul frère **HOUSSINE** qui m'aider par votre PC
- ✚ A mes sœurs **KHAWLA** et **AMIRA** qui m'encourager moralement
- ✚ A mes tonton **ZHIRA** et **RATIBA** avec sa famille pour leur soutien morale au quotidienne.

- ✚ A mes cousine **FATIMA** et **FAHIMA** avec sa famille et surtout MAAB.
- ✚ A mes oncles **HAMID** et **MALEK** avec sa famille.
- ✚ A mon amis **GUEMRA** avec sa famille.
- ✚ A mes collègues de travail (**école alliouche Ismail**).
- ✚ A mon ami intime : **DJALEL**
- ✚ Enfin je tiens beaucoup dédier ce travail a:« **IKRAM, WISSAM, ANWAR, FAIZA** »



# DOUNYA

# Dédicace

## JE DEDIE CE TRAVAIL

- A mes défunts père, et grand-père –

, - A ma mère pour son affection, et ses prières. Vous toujours été à mes cotés, pour me conseiller, et m'aider. Puisse le Tout Puissant prolonger votre vie afin que vous bénéficiiez des fruits de vos efforts.

A mes grands-parents à Yilou pour leurs prières quotidiennes formulées pour moi. –

A mes Frères : Amélie Kiswensida, Daniel Sidpassambé Eric, Evariste Boblewindé Guy, Ariane Pengwendé Eudoxie, Isabelle Catherine, Sanata, et Marc Bénéwendé. –

A mon oncle Mr. Arsène SONGNABA et à toute sa famille pour leur soutien moral, matériel, spirituel et financier au quotidien.

- A mon tonton Mr. Timothée SAWADOGO et à toute sa famille pour m'avoir hébergé et soutenu ces cinq années.

# Dédicace

- A mes camarades de promotion : Mbacké, Niang, Khalla, Lamine, Beranrd, Tourki, Marie Jeanne, Seynabou, Mariame, Souley, Tall, Serigne, Soumano, Molah Faye, Arsène Mokoko et Keita

. - A mon amie : Léticia Bénéwendé SAKANA. - A tous mes cousins, cousines, neveux et nièces

. - A tous mes Amis.

Ce travail est le vôtre !

# REMERCIEMENT :

*Au terme de ce travail il m'est très agréable de remercier :*

- ✚ Monsieur l'encadreur **KEMOUKH SAMI** pour mon encadrement et soutien quotidienne morale et pour m'avoir conseillée aidé et orienté .merci beaucoup .*
- ✚ J'dresse mes sincères remerciement a tous les professeurs intervenant, et toutes les personnes qui par leur parole leur écrit leur critique ont guidée mes réflexions et ont acceptes de me rencontrer et répondre a mes questions durant mes recherches*

## Résumer :

Le barrage réservoir Oued El Athmania est situé au niveau de la wilaya de Mila sur le bassin versant de Ouled El Kaim entre la commune de Sidi Khelifa et Oued El-Athmania dans le cadre de transfère des eaux mobilisées du barrage de Beni-Haroun vers les wilayas de Batna, Khenchela, Mila, Oum-El-Bouaghi et Constantine. Il destiné à l'irrigation et à l'AEP a un volume de 3600000 hm<sup>3</sup>.

Géologiquement localisée à la partie nord orientale de l'Algérie qui contient deux domaines : externe (sud) et domaine interne (nord).

Le barrage situé en zone semi aride d'une précipitation moyenne de 422.16 mm et une température 20.04°C.

Notre étude consacré plus importante sur l'hydrochimie, nous avons essayé de donner un aperçue sur la qualité des eaux de ce barrage

### الملخص:

يقع سد خزان واد العثمانية بولاية ميلة بحجم يقدر ب 3600000 هكتومتر مكعب على مستوى الحوض الهيدروغرافي لواد القايم بين بلديتي سيدي خليفة ووادي العثمانية في منطقة شبه رطبة. جيولوجيا يقع السد في شمال الجزائر, يتشكل من منطقتين داخلية (الشمال) وخارجية (الجنوب). خصص السد للتزويد بماء الشرب والسقي في اطار توزيع الماء من بني هارون إلى باتنة, خنشلة, ميلة, أم البواقي و قسنطينة .  
تتمحور دراستنا على معرفة نوعية مياه هذا السد كيميائيا.

### Abstract:

The dam reservoir of Ouled Athmania in Mila which extends over an area of 3600000 cubic hectometer is located on the level of the hydrographic basin of ouled Kaim between sidi Khelifa and Oued Athmania of a semi-moist area. Geologically it is located on the north side of Algeria and it is consisted of two region internal (the North) and external (the south). The average annual rainfall of 422.16 mm and an average temperature of about 20.04 degree Celsius.

The dam barrage is specified to the supply of water-drinking as well as for irrigation in the framework of water's diversion from Bni-Haroun dam to Batna, Khenchela, Mila, Oum El Bouaghi and Constantine.

Our research concentrated to know the water quality of the dam.

# Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Introduction générale

## Chapitre I: Etude morphologique

Introduction

<b>I : Généralités sur le site.....</b>	<b>1</b>
<b>II : Cadre morphologique de barrage réservoir oued el Athmania.....</b>	<b>2</b>
II-1 : Les paramètres morphométriques du bassin versant d'oued el kaim	3
II-1-1 : Les paramètres physiques.....	3
a: La végétation .....	3
II-2 : Les paramètres géométriques.....	4
a : La superficie.....	4
b : Le périmètre.....	4
c : Indice de forme (de compacités).....	4
d : Rectangle équivalent.....	4
e : Longueur de talweg principale.....	5
II-3 : Les paramètres morphologiques.....	5
a : La densité de drainage.....	5
b : Coefficient de torrentialité.....	5
c : Temps de concentration.....	6
d : Vitesse d'écoulement de l'eau.....	6

Conclusion

## Chapitre II : Etude géologique

Introduction

<b>I : La géologie régionale.....</b>	<b>8</b>
I-1 : le domaine interne.....	8
a : le socle kabyle.....	9
➤ Un ensemble supérieur .....	9
➤ Un ensemble inférieure .....	9
b : la couverture sédimentaire de socle kabyle.....	9
➤ La dorsal kabyle ou chaine calcaire.....	9
1 : Le dorsal interne .....	9
2 : le dorsal médian.....	9
3 : le dorsal externe.....	10
➤ Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK).....	10
1 : un terme de base.....	10
2 : un terme médian.....	10
3 : un terme supérieur.....	10
➤ Les Ollistostromes.....	10
I-2 : le domaine externe.....	10
a : Les séries de type flyschs.....	10
➤ Le flysch maurétanien.....	10
➤ Le flysch massylien.....	11
➤ Le flysch numidien.....	11
b : Les séries telliennes.....	11

➤ Une série ultra-tellienne.....	11
➤ Une série méso-tellienne.....	11
➤ Une série puni-tellienne.....	12
I-3 : les formations de l'avant pays.....	12
a : L'avant pays allochtone.....	12
b: L'avant pays autochtone.....	12
I-4 : les formations post nappe.....	12
I-5 : Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie.....	13
<b>II : La géologie local de bassin versant de oued el Kaim.....</b>	<b>14</b>
II-1 : Synthèse litho stratigraphique du bassin de Mila.....	14
a : les formations triasiques.....	14
b : les formations jurassiques.....	14
➤ Le lias .....	14
➤ Le dogger.....	14
➤ Le Malm.....	14
C :les formations de crétacé.....	14
➤ Inférieure.....	14
➤ Supérieure.....	17
d : les formations de paléogène.....	17
➤ Paléocène.....	17
➤ Eocène.....	17
e : les dépôts néogènes.....	18
f : les dépôts quaternaires.....	18
II-2 : la géologie de secteur étudié.....	18
a : les marnes de paléocène.....	18
b : Les calcaires de l'Eocène attribués à l'Yprésien.....	19
c : les marnes de l'Eocène (d'âge Lutétien).....	19
d : Les microconglomérats et grés sableux.....	19
e : Les argiles marneuses à gypse.....	20
f : Les conglomérats.....	20
J : Les calcaires lacustres.....	21
h : Les dépôts Quaternaires.....	21

## Conclusion

### Chapitre III : Etude climatologique

#### Introduction

<b>I : Caractéristiques climatiques.....</b>	<b>23</b>
I-1 : Les Précipitations .....	23
I-2 : Les Températures .....	25
I-3 : La Relation précipitation- température (Diagramme Ombro-Thermique)...	26
I-4 : Humidité relative.....	27
I-5 : Aridité .....	28
I-6 : vent .....	29
I-7 : Evaporation .....	29
I-8 : Le coefficient pluviométrique .....	30
I-9 : Détermination de l'humidité de sol (méthode d'UVERTE) .....	31
<b>II : Calcul de l'évapotranspiration .....</b>	<b>32</b>
II-1 : Définition .....	32
II-2 : Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	32
II-3 : Calcul de l'évapotranspiration réelle(ETR), ou déficit d'écoulement .....	33

a:Formule de TURC .....	33
b : Formule de Coutague .....	34
c :Méthode de Wundt .....	34
📁 Calcul du Ruissellement " R " .....	37
📁 Calcul d'infiltration moyenne" I " .....	37
📁 Comblement de la retenue .....	37
📁 Calcul des apports liquides .....	38
1 – Formule de SAMIE .....	38
2– Formule dite ALGERIENNE .....	39
3– Formule de MALLET- GAUTTHIER .....	39
4- Formule de TURC.....	40

## Conclusion

### Chapitre VI : Etude hydrochimique

#### Introduction

➤ Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau .....	42
➤ Principales analyses à effectuer sur site .....	42
<b>I : l'échantillonnage</b> .....	43
<b>II : Les analyses hebdomadaires</b> .....	44
II-1 : Principe et mode opératoire et appareille de mesure .....	44
II-1-1 : Mesure de PH .....	44
II-1-2 : Mesure de la conductivité .....	45
<b>III : Les analyses volumétriques</b> .....	45
III-1 : Principe et mode opératoire de mesure .....	45
III-1-1 : La dureté totale (TH), calcique et magnésienne .....	46
III-1-2 : Le chlorure .....	46
III-1- 3 : Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet .....	47
III-1- 4 : Matière organique : .....	47
• Les réactifs utilisés .....	47
<b>IV : Analyses photométriques</b> .....	48
<b>V : Analyses spectrométriques</b> .....	48
V-1 : Principe générale .....	49
V-2 : Principe et mode opératoire de mesure .....	49
V-2-1 : Nitrate et Nitrite .....	49
V-2- 2 : Phosphate .....	50
V-2-3 : Sulfates .....	50
➤ Interpretation des résultats .....	52
<b>VI : Rapports et l'interprétation des résultats</b> .....	58
VI-1 : Les facies chimiques .....	58
VI-2 :L'origine de sodium Na .....	59
VI-3 : Rapport Na/so4 .....	59
VI-4 : Echange de base .....	60
VI-5 : Origine de Mg .....	60
VI-6: Origine de calcium .....	61
VI-7 : Rapports de Ca/SO <sub>4</sub> .....	61
VI-8 : origine de salinité .....	61
VI-9 :[(Cl/SO <sub>4</sub> ) /CE].....	62
<b>VII : Résultats et interprétation des analyses hydrochimique</b> .....	62
VII-1 : Les diagrammes.....	62
a : Le Diagramme de Piper.....	62
b : Diagramme de Shoeller-Berkalof.....	63

VII-2 : Aptitude des eaux à l'irrigation.....	64
VII-2-1 : Risque de sodicité et de salinité : Diagramme du SAR.....	64
VII-2-2 : Influence de la sodicité et de la salinité de l'eau sur la perméabilité du sol .....	65
a : Classification de Wilcox .....	66
<b>VIII : Apport de l'Analyse en Composant Principales (ACP) .....</b>	<b>67</b>
VIII.1 : Caractéristique de la méthode .....	68
A : Principe de la méthode .....	68
B : Traitement statistique .....	68
C : Matrice de corrélation .....	68
D : L'analyse de cercle de l'ACP .....	69
<b>Conclusion</b>	
<b>Conclusion générale</b>	

## Liste des tableaux

<b>Tableau I-1:</b> Tableau récapitulatif des différents paramètres du bassin versant de l'Oued El Kaïm (barrage réservoir oued al Athmania).....	7
<b>Tableau III-1:</b> Répartition Moyennes mensuelle et saisonnières des précipitations en mm et en % (station de barrage hammam grouz 1990 - 2015).....	24
<b>Tableau III-2:</b> Les températures moyennes mensuelles [Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015].....	25
<b>Tableau III-3:</b> Valeurs moyennes mensuelles et saisonnières de l'humidité relative (Station climatologique Barrage Hammam Grouz 1990-2015).....	27
<b>Tableau III-4:</b> Evaporation moyenne mensuelle et saisonnières (station du barrage Hammam Grouz 1990-2015).....	29
<b>Tableau III-5 :</b> Valeurs du coefficient pluviométrique (station du barrage Hammam Grouz 1990-2015).....	31
<b>Tableau III-6:</b> Les différentes valeurs mensuelles de rapport P/T (humidité) selon la méthode de méthode d'UVERTE .....	32
<b>Tableau III-7 :</b> Calcul de l'ETP <sub>c</sub> selon la formule de Thornthwaite.....	33
<b>Tableau III-8:</b> Récapitulatif des valeurs de l'ETR et de l'ETP à 1990-2015....	36
<b>Tableau III-9 :</b> Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) selon Thornthwaite durant la période : 1990-2015.....	36
<b>Tableau III-10:</b> Tableau récapitulatif .....	40
<b>Tableau IV-1 :</b> facteurs physico-chimiques (les normes).....	44
<b>Tableau IV-2:</b> mode opératoire de mesure de PH.....	44
<b>Tableau IV-3 :</b> mode opératoire et principe de mesure de la conductivité.....	45
<b>Tableau IV-4 :</b> principe, mode opératoire de Ca <sup>2+</sup> et Mg <sup>2+</sup> .....	45
<b>Tableau IV-5 :</b> principe, mode opératoire et résultats de mesure de Cl <sup>-</sup> .....	46
<b>Tableau IV-6 :</b> principe, mode opératoire de TA et TAC [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ].....	46
<b>Tableau IV-7 :</b> principe, mode opératoire et matériel de mesure de MO.....	47
<b>Tableau IV-8 :</b> principe ; mode opératoire et appareil de mesure de (Na <sup>+</sup> ; K <sup>+</sup> ).....	48
<b>Tableau VI-9 ;</b> principe et mode opératoire de mesure de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> et NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	49
<b>Tableau IV-10 :</b> principe mode opératoire et appareil de mesure de phosphate.....	50
<b>Tableau IV-11 :</b> principe et mode opératoire de mesure de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	50
<b>Tableau IV-12 :</b> Tableau récupulatif aux résultats des analyses au niveau de trois compagne au niveau de deux mois (avril et mai).[2016].....	51
<b>Tableau IV-13 :</b> Valeurs Min, Max, Moy et l'écart des résultats des analyses	51
<b>Tableau IV-14 :</b> gamme détalonnage de nitrate.....	56
<b>Tableau IV-15 :</b> gamme détalonnage de nitrite.....	56
<b>Tableau IV-16 :</b> gamme détalonnage de phosphate.....	57
<b>Tableau IV-17 :</b> Gamma détalonnage de sulfate .....	58
<b>Tableau IV-18 :</b> Calcul du S.A.R .....	65
<b>Tableau IV-19 :</b> Valeurs propres .....	70
<b>Tableau IV-20 :</b> Matrice des corrélations entre les différents variables au seuil de 5% et avec 09 d'échantillons.....	69
<b>Tableau IV-21 :</b> cosinus carrés des variables.....	71

<b>Tableau IV-22 : cosinus carrés des individus .....</b>	<b>72</b>
---	-----------

## Liste des figures

<b>Figure I-1</b> : Situation du barrage réservoir d'Oued El Kaïm dans le Kébir – Rhumel (Mébariki, 2005).....	2
<b>Figure I-2</b> : le Réseau hydrographique d'Oued El Kaïm. [Extraite de la carte topographique № =73 de la feuille de Constantine échelle 1 / 50 000].....	3
<b>Figure II-1</b> : Schéma structural de la méditerranée occidentale (M. Durand Delga, 1969).....	8
<b>Figure II-2</b> : Esquisse structurale du Nord- Est Algérien (W. Wildi, 1983).....	13
<b>Figure II-3</b> : Carte géologique synthétique du bassin constantinois (J.M.Vila, 1980).....	15
<b>Figure II-4</b> : Carte géologique du bassin de Mila (J.M.Vila, 1980).....	16
<b>Figure III-1</b> : La répartition de la précipitation moyenne mensuelle interannuelle (station climatologique de barrage hammam grouze 1990-2015).....	24
<b>Figure III-2</b> : Répartition de la précipitation moyenne saisonnière [station barrage hammam grouze 1990-2015].....	25
<b>Figure III-3</b> : Répartition de la température moyenne mensuelle (1990-2015).	26
<b>Figure III-4</b> : Diagramme ombro -thermique durant la période 1990-2015 barrage réservoir oued el Athmania.....	27
<b>Figure III-5</b> : Répartition de l'humidité relative (station climatologique barrage hammam grouze durant la période : 1987-2012).....	28
<b>Figure III-6</b> : L'évaporation moyenne mensuelle durant la période (Station Barrage Hammam Grouze 1990-2015).....	29
<b>Figure III-7</b> : Distribution des précipitations moyennes mensuelles (station de barrage hammam grouz1990-2015).....	30
<b>Figure III-8</b> : Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période : 1990-2015.....	37
<b>Figure IV-1</b> : graphique de PH	52
<b>Figure IV-2</b> : graphique de conductivité	52
<b>Figure IV-3</b> : graphique de $Ca^{2+}$	52
<b>Figure IV-4</b> : graphique de $Mg^{2+}$	53
<b>Figure IV-5</b> : graphique de chlorure	53
<b>Figure IV-6</b> : graphique de $HCO_3^-$	54
<b>Figure IV-7</b> : graphique de $Na^+$	55
<b>Figure IV-8</b> : graphique de $K^+$	55
<b>Figure IV-9</b> : graphique de nitrate	55
<b>Figure IV-10</b> : graphique de nitrite	56
<b>Figure IV-11</b> : graphique de phosphate	57
<b>Figure IV-12</b> : graphique de sulfate	57
<b>Figure IV-13-21</b> : Rapports	58-62
<b>Figure IV-22</b> : Diagramme de Piper des eaux superficielles de barrage réservoir Ouled elkaim (avril et mai 2016)	63
<b>Figure IV-23</b> : Diagramme de Shoelliel des eaux superficielles de barrage réservoir Ouled elkaim (avril et mai 2016)	64
<b>Figure VI-24</b> : Classification des eaux d'irrigation du barrage réservoir Ouled el Kaim selon la méthode de S. A .R D'après : Richard.1954	66
<b>Figure IV -25</b> : Classification des eaux d'irrigation du barrage réservoir Ouled	

elkaim d'après la méthode de Wilcox	67
<b>Figure IV -26</b> : plan factoriel F1-F2 des variables	69
<b>Figure IV -27</b> : plan factoriel F1-F3 des variables	70

## Liste des photos

<b>Photo I-1</b> : la situation géographique de barrage réservoir oued el Athmania (Google Earth ).....	3
<b>Photo II-1</b> : Illustration d'un calcaire à nodules de silex.....	19
<b>Photo II-2</b> : Illustration d'un banc de grés beige relevé au pied du versant..	20
<b>Photo II-3</b> : Illustration des Argiles marneuses à gypse.....	20
<b>Photo II-4</b> : Illustration d'un conglomérat.....	21
<b>Photo II-5</b> : Un front de taille illustrant la superposition des différents termes lithologiques du secteur étudié.....	21
<b>Photo IV-1</b> : Les points de prélèvement des échantillons au niveau de barrage réservoir Oued Athmania.....	43
<b>Photo IV-2</b> : PH-mètre.....	44
<b>Photo IV-3</b> : conductimètre.....	45
<b>Photo IV-4</b> : variation de couleur de titrage.....	45
<b>Photo IV-5</b> : résultat de titrage Cl <sup>-</sup> (jaune orange).....	46
<b>Photo IV-6</b> : résultat de titrage de TAC.....	46
<b>Photo IV-7</b> : l'étuve d'évaporation.....	48
<b>Photo IV-8</b> : spectromètre.....	48
<b>Photo IV-9</b> : résultats d'analyses de nitrate.....	49
<b>Photo IV-10</b> : résultats de titrage de phosphate.....	50

## INTRODUCTION GENERALE :

Depuis plus d'une décennie, la demande en eau devienne parmi les problèmes actuels des hydrauliciens, en générale se résument dans la variabilité des ressources, alors que la croissance démographique, les progrès d'hygiène, l'urbanisation poussée, l'industrialisation massive, l'irrigation des cultures sur des vastes périmètres deviennent de plus en plus importantes.

Ces facteurs causent une dégradation de la qualité et limitent la possibilité de leur utilisation.

En Algérie, les eaux superficielles particulièrement l'emmagasinement dans les barrages et les retenues collinaires comme le montre les nouvelles études ne suffisent pas aux besoins croissants aux activités humaines.

Le présent travail se veut une étude qualitative de l'eau de barrage réservoir Oued El Athmania, pour celle raison en a adopté trois approche :

**Une approche morphologique** : permette de déterminer les caractéristiques morpho- métriques de bassin versant et sa configuration dans l'espace, en plus de l'analyse hydrologique de ce bassin constitue une plate forme essentielle pour l'explication et la compréhension de son comportement hydrologique (la forme, la superficie).

**Une approche Climatologique** : cette approche permet de dégager, non seulement les grandes traits du climat qui règne, mais aussi les facteurs qui réagissent en particulier : la précipitation, les températures, l'humidité relative, l'évapotranspiration. qui influent directement sur la région d'écoulement.

**Une approche Hydro chimique** : basée sur l'interprétation des analyses physico-chimiques des eaux du barrage ; pour mieux comprendre le nécessaire d'acquisition de chimie des eaux, afin de suivre l'évolution temporaire et de tenter de comprendre l'origine de ces eaux superficielles. neuf échantillons d'eau ont été prélevés et analyses au niveau de laboratoire de l'ADE de Mila.

**Introduction :**

Le barrage réservoir de Oued Athmania est situé sur le long de Oued El Kaim, entre la commune de Sidi Khelifa et Oued El- Athmania (wilaya de Mila), il été réalisé dans le cadre de transfere des eaux mobilisées du barrage de Beni-Haroun vers les wilayas de Batna, Khenchela, Mila, Oum-El-Bouaghi et Constantine. Les eaux de ce barrage sont destinées à l'irrigation ( $12883 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  en 2014 et  $22076 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  en 2015) et à l'alimentation en eaux potable des villes précédentes ( $13117 \cdot 10^4 \text{ m}^3$  en 2014 et  $124088 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  en 2015). [1]

**I : Généralités sur le site :**

Le barrage réservoir est construit en 2002, et la mise en marche en 2007, il a une capacité de  $10847 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ , avec une surface de la retenue au niveau normal de 275 ha. Le barrage de type-remblai homogène en argile avec filtre et drains cheminées en aval du noyau virtuel et tapis drainant. Le volume utile de ce réservoir au niveau normal est de 31.9 million  $\text{m}^3$ . avec un volume total de remblai de  $3600000 \text{ m}^3$ , leurs coordonnées Lambert sont :

X=749 200 m ; Y=4025 100 m.

L'apport moyen annuel de ce barrage mesuré centennale, avant sa construction, se situe autour de 2.37 million  $\text{m}^3$ ; ce débit centennal est de l'ordre de 133  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Ce barrage réservoir formé par :

\* **Une digue de col** : à une largeur de crête de 5 m et longueur de 900 m. la hauteur maximale sur le terrain naturelle ne dépasse le 10m.

\***Une conduite de dérivation provisoire** : a type pertuis sous remblais ( $3 \cdot 4 \text{ m}$  en amont de pertuis et  $3.5 \cdot 5.4 \text{ m}$  en aval) la pente de pertuis est de 2.5%. avec un débit de dimensionnement de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

\***Une conduite de vidange de fond** : avec une chambre des vannes sous remblai a deux vannes l'un wagon ( $1.5 \cdot 1.8$ ) et l'autre a glissière ( $1.5 \cdot 1.8$ ), le niveau de prise d'eau dans ce réservoir est 819.5m.

\***Une prise d'eau** : avec un tour de prise immergée suivie d'un pertuis sous remblai puis une conduite métallique de diamètre 2700mm constitue une vanne papillon de 2400mm de diamètre, deux conduites en acier avec vanne papillon de contrôle l'une de 2400mm de diamètre et l'autre 1600 mm. [1]

Ces limites administratives est comme suite:

- ✓ La commune de Sidi-Khlifa au Nord-ouest (Wilaya de Mila).
- ✓ La commune d'Ibn Ziad au Nord-est (Wilaya de Constantine).
- ✓ La commune d'Ain Smara à l'Est (Wilaya de Mila).
- ✓ La commune d'Oued Seguin au Sud –Est (Wilaya de Mila).
- ✓ La commune de Chelghoum Laid au Sud-ouest (Wilaya de Mila).
- ✓ La commune d'Ain Mlouk à L'Ouest (Wilaya de Mila). [1]

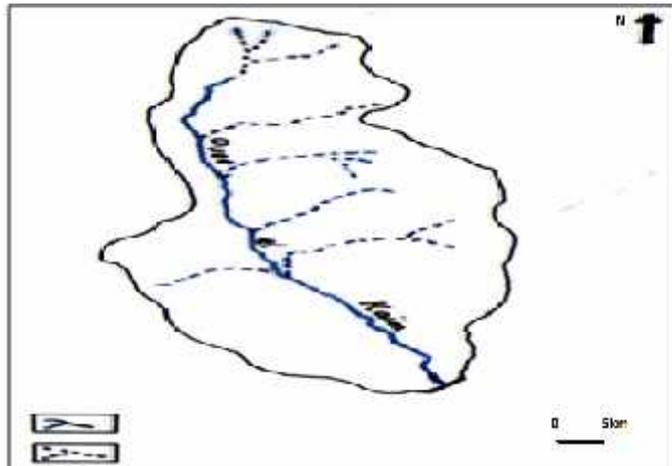
## II: Cadre morphologique du barrage réservoir Oued el Athmania-Mila :

Le sous-bassin d'Oued El Kaïm appartenant au grand bassin de Kebir-Rhumel, il est limité au Nord par le sous- bassin d'Oued Ras El Ma, par le sous-bassin d'Oued Bou Hammdoun du côté SW et par le sous-bassin d'Oued Maïa du côté NE, qui appartient au sous-bassin d'Oued Koton (**Figure I-1**).

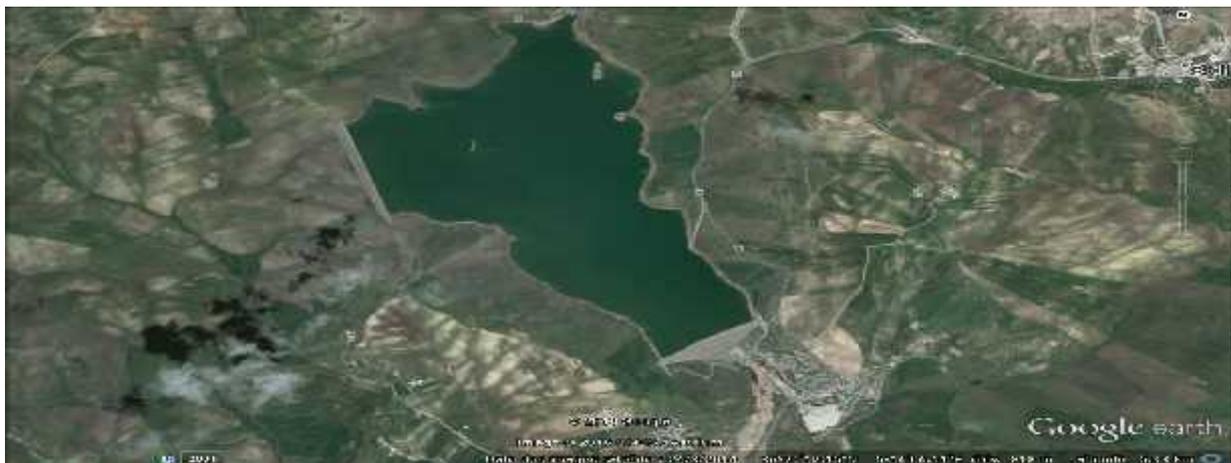


**Figure I-1** : Situation du barrage réservoir d'Oued El Kaim dans le Kébir –Rhumel (Mébarki, 2005)

Le sous bassin de Oued El Kaim représenté a une superficie de (16.5 Km<sup>2</sup>) soumis a une grande partie de climat semi aride des hautes plaines avec une pluviométrie moyenne annuelle de 422.16 mm/an. [1]



**Figure I -2:** Le réseau hydrographique d'Oued El Kaïm. [Extraite de la carte topographique N° =73 de la feuille de Constantine échelle : 1 / 50 000] .



**Figure I-3 :** Vue satellite du barrage réservoir oued El Athmania (Google Earth ).

## **II-1: Les Paramètres morphométriques du bassin versant Oued El Kaim :**

Un bassin versant est l'ensemble de la surface topographique qui draine la totalité des eaux tombant sur cette surface.

### **II-1-1 : les Paramètres physiques :**

**a : La végétation :** La superficie du sous-bassin versant de l'Oued El Kaïm est occupée en grande partie par des cultures de céréales, une petite partie par la culture maraîchères et le reste sont occupé par la végétation sauvage [2].

**II-1-2 : les paramètres géométriques :****a : La superficie :**

La superficie du bassin versant de barrage réservoir Oued Athmania planifié et mesuré sur une carte topographique à l'échelle de 1/50000 de Constantine.

$$S = 16.5 \text{ Km}^2$$

**b : Le périmètre :**

Sur la même carte de Constantine au 1/50 000, le périmètre du sous-bassin versant est de :

$$P = 12.25 \text{ km}$$

**c : Indice de forme ou compacité (Indice de Grailuis) :**

L'indice de forme ou compacité est donné par la formule :

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{S}}$$

Avec :  $K_c$  : Indice de Grailuis.

P : Périmètre du bassin versant en km.

S : Superficie du bassin versant en  $\text{km}^2$ .

$$K_c = 0.84$$

On obtient  $K_c = 0.84 < 1$ , ce qui nous indique que le sous-bassin versant d'Oued El Kaïm (barrage réservoir de oued al Athmania) est de forme allongée.

**d : Rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent est la forme géométrique de longueur « L » et de largeur « I », qui à la même surface que le bassin versant. Ce paramètre permet facilement la comparaison entre deux bassins versant.

La longueur du rectangle est en fonction de la compacité comme la donne la formule ci-dessous :

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left\{ 1 + \sqrt{\left( 1 - \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right\}$$

Où : S : Superficie du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

C : Indice de forme.

$$L = 2.04 \text{ Km}$$

On obtient :

La largeur du rectangle « I » est déterminée en fonction de la surface du bassin versant « S » et la longueur « L » :

$$S = L \cdot I$$

On obtient :

$I = 8.09 \text{ Km}$
-----------------------

**e : Longueur du talweg principal “L<sub>p</sub>”:**

La longueur du talweg principal à été déterminée de la carte topographique de Constantine (E : 1/50 000) :

$L_p = 5.75 \text{ Km}$
-------------------------

### **II-1-3: Les Paramètres morphologiques :**

**a : La densité de drainage “D<sub>d</sub>” :**

C'est le rapport de la longueur totale des cours d'eau « L<sub>i</sub> » à la surface du bassin versant « S » :

$$D_d = \sum L_i / S$$

La densité de drainage « D<sub>d</sub> » a été tirée des rapports de l'entreprise Hydro projet Est, elle est comme suit :

On a :  $S = 16.5 \text{ km}^2 \Rightarrow \sum L_i = 24 \text{ km}$ .

$D_d = 1.46 \text{ km/km}^2$
------------------------------

**b : Coefficient de torrentialité “C<sub>t</sub>” :**

Le coefficient de torrentialité est un paramètre qui permet d'avoir une idée sur l'importance de l'érosion :

$$C_t = D_d \cdot F_1$$

Où : F<sub>1</sub> : La fréquence des cours d'eau de premier ordre par unité de surface, elle est donnée par :

$$F_1 = N_1 / S$$

Avec : N<sub>1</sub> : Nombre des cours d'eau d'ordre (1).

S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

Donc :

$$C_t = 1.22$$

Le coefficient de torrentialité du sous-bassin versant de l'Oued El Kaïm est très faible, ce qui explique le faible taux de transport solide charrié par le cours d'eau.

**c : Temps de concentration "T<sub>c</sub>" :**

Le temps de concentration "T<sub>c</sub>", est déterminé par la formule de Giandotti comme suit :**(4)**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec : T<sub>c</sub> : Temps de concentration exprimé en heure ;

S : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

L<sub>p</sub> : Longueur de talweg principale (Km), L<sub>p</sub>=5.8 Km ;

H<sub>moy</sub> : Altitude moyenne en (m) ;

H<sub>min</sub> : Altitude minimale en (m) ;

$$T_c = 3.57 \text{ heure}$$

**d : La vitesse d'écoulement de l'eau "V<sub>e</sub>" :**

Elle est donnée par :

$$V_e = L_p / T_c$$

Avec : L<sub>p</sub> = 5.75 km = 5750 m.

T<sub>c</sub> = 3.59.heures =12924 seconds.

L'application numérique donne que :

$$V_e = 0.44 \text{ m/s}$$

Les faibles valeurs de T<sub>c</sub> et V<sub>e</sub> indiquent que l'Oued Kaim pas le problème d'affouillement.

Tous les paramètres morphométriques sont récapitulés dans le tableau ci- dessus, les paramètres sont calculés à partir de carte topographique E : 1/50 000 de la région de Constantine.

**Tableau I-1** : Tableau récapitulatif des différents paramètres du bassin versant de l'Oued El Kaïm (barrage réservoir oued al Athmania)

Parameters	Symbols	Unites	Valeurs
Superficie	S	Km <sup>2</sup>	16.5
Périmètre	P	Km	12.25
Altitude maximal	H <sub>max</sub>	M	966
Altitude moyenne	H <sub>moy</sub>	M	875
Altitude minimal	H <sub>min</sub>	M	800
Longueur du talweg principale	L <sub>p</sub>	Km	5.75
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	2.04
Largeur du rectangle équivalent	I	Km	8.09
Indice de forme	C	-	0.84
Densité de drainage	D <sub>d</sub>	Km/km <sup>2</sup>	1.46
Coefficient de torrencialité	C <sub>t</sub>	-	1.22
Temps de concentration	T <sub>c</sub>	Heure	3.57
Vitesse d'écoulement	V <sub>e</sub>	m/s	0.44

**Conclusion :**

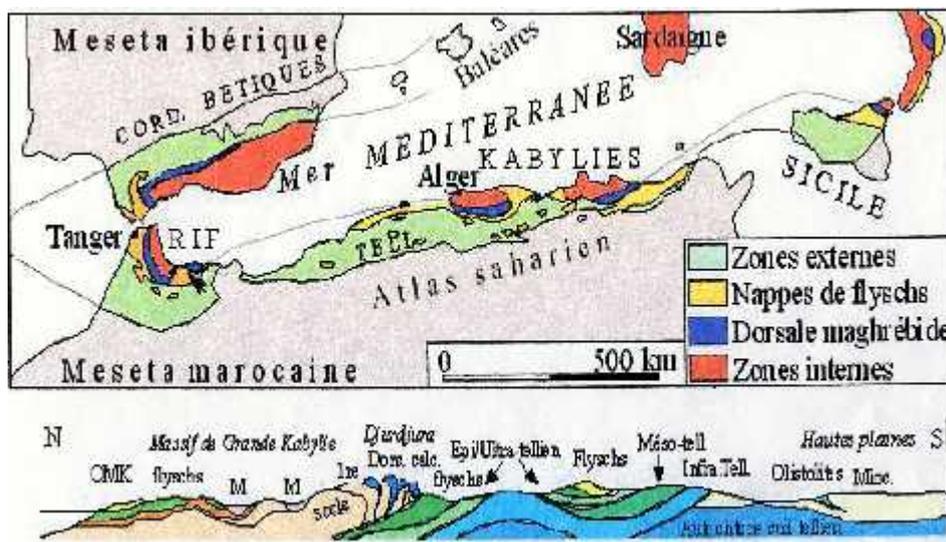
Le chapitre consacré à la morphologie à montré que le sous bassin de l'Oued Kaim appartient au grand bassin de Kibir-Rhumel, il occupé dans sa partie une superficie de 16.5 Km<sup>2</sup> et s'étend sur une longueur du talweg principal de 5.75 Km.

**I : La géologie régionale :**

**Introduction :**

Les travaux de M. Durand-Delga (1969) dans son étude géologique des bassins néogène constantinois a mis en évidence, que cette région est essentielles caractérisée par des formations sédimentaire, constituée généralement par des calcaires, des grés et des marne.

Le secteur d'étudié fait partie du grand bassin néogène constantinois. Il est localisé dans la partie Nord - orientale de l'Algérie. Cette dernière appartient à la branche Sud de la chaîne dénommée " **Maghrébides**" qui s'étend sur environ 2000 km, entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est (**Figure II-1**).



**Figure II-1 :** Schéma structural de la méditerranée occidentale (M. Durand Delga, 1969)

En Algérie, la branche Sud de la chaîne Alpine est subdivisée en deux grands domaines (Figure II-1) : [3]

- **Le domaine interne:** situé au Nord, il comporte les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire, cet ensemble est largement charrié vers le sud (J.P. Bouillin, 1977 et W. Wildi, 1983).
- **Le domaine externe :** situé plus au Sud, il comporte les formations des flyschs et les formations stelliennes. ces formations telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien (J.P. Bouillin, 1977).

**I-1 : Le domaine interne :**

Il regroupe le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire.

**a : Le Socle kabyle :**

Il est représenté par des formations cristallophylliennes formant trois pointements amygdalaires au Nord de l'Algérie :

- Le massif de Chenoua à l'Ouest d'Alger,
- Le massif de la grande Kabylie au centre,
- Le massif de la petite Kabylie à l'Est.

Dans le massif de la petite Kabylie, le socle kabyle comporte deux grands ensembles :

➤ **Un ensemble supérieur :**

Cet ensemble est formé essentiellement de Schistes, de Micaschistes et de Phyllades. Il est surmonté en discordance par des formations siluriennes (M. Durand Delga, 1955) comportant de bas en haut :

- Des schistes noirâtres,
- Des psammites rouges et vertes à Graptolites,
- Des grès calcaires à Tentaculites,
- Des calcaires à Orthocères.

➤ **Un ensemble inférieur :**

Gneissique, constitué de para-gneiss, d'ortho-gneiss et de gneiss granulitique à intercalation de marbres et d'amphibolites. En petite Kabylie, les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement charriées vers le Sud sur les formations de type flyschs et les formations telliennes (M. Durand Delga, 1955 et J.P. Bouillin, 1977).

**b : La couverture sédimentaire du socle kabyle :**

➤ **La dorsale kabyle ou chaîne calcaire :**

C'est la couverture sédimentaire du socle Kabyle qui marque la limite entre ce dernier au Nord et les zones telliennes au Sud. Elle montre des termes allant du Permo-Trias, discordant sur le socle kabyle, à l'Oligocène. A l'Est de la petite Kabylie, la dorsale Kabyle forme les reliefs de Sidi Driss, d'El Kentour et des Toumiets. Les séries qu'elle présente permettent de la subdiviser en trois domaines, qui sont du Nord au Sud (J.F. Raoult, 1969 - 1974) :

**1 : La dorsale interne :** Qui montre sur un soubassement paléozoïque une série complète du Permo-Trias au Néocomien. Le Néocomien est directement surmonté par des calcaires biogènes à caractères littoraux de l'Eocène inférieur à moyen.

**2 : La dorsale médiane :** Elle est caractérisée par des dépôts marno-calcaires à microfaunes pélagiques du Turonien au Lutétien inférieur et par une lacune stratigraphique au Crétacé moyen.

**3 : La dorsale externe :** Elle est caractérisée par des séries détritiques peu épaisses et lacuneuses. Elle comporte des calcaires silicifiés, surmontés en

discordance par des conglomérats du Campanien. Ces derniers sont marqués par une intense érosion au Sénonien. La dorsale externe repose en discordance sur les flyschs.

➤ **Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) :**

Ces formations forment la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle kabyle. Les formations de l'oligo-miocène kabyle sont constituées de trois principaux termes :

- 1 : Un terme de base :** il comporte des conglomérats reposant en discordance sur le socle kabyle.
- 2 : Un terme médian :** formé de grés micacés à débris provenant du socle kabyle associés à des pélites micacées.
- 3 : Un terme supérieur :** pélitique et siliceux à radiolaires et diatomées.

L'âge attribué à ces formations est supposé : Oligocène supérieur à Aquitanien.

À cet Oligo-Miocène kabyle succèdent des Ollistostromes (J.F. Raoult, 1974 - 1975 et J.P. Bouillin, 1977).

➤ **Les Ollistostromes :**

Ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flyschs intercalés dans des passées grés-micacés. L'âge de ces formations est supposé Aquitanien à Burdigalien inférieur probable (J.P. Bouillin et al, 1971 ; J.P. Bouillin et al, 1973 et J.P. Bouillin, 1977).

## **I-2 : Le domaine externe :**

Il correspond au domaine de flyschs et au domaine tellien.

### **a : Les séries de type flysch :**

Ce sont des séries d'âge Crétacé à Paléocène. En Algérie, ces séries occupent une position allochtone. Elles sont classiquement subdivisées en deux principaux types:

- Flysch maurétanien.
- Flysch massylien.

Et aux quels s'ajoute le Flysch Numidien d'âge Burdigalien.

➤ **Le Flysch maurétanien :**

Il comporte de bas en haut (J.P. Gelard, 1969 ; H. Djellit, 1987) :

- Un pré flysch calcaire du Tectonique - Néocomien, constitué d'une alternance de marnes grises et de turbidités calcaires.
- Un ensemble épais (300 m) de grés homométriques à cassure verte (flysch de Guerrouch) attribué à l'Albo-Aptien.
- Des phtanites rouges et blanches du Cénomaniens supérieur.

- Des microbrèches à ciment spathique riches en quartz détritique et parfois des micro-conglomérats du Sénonien.
- Au sommet, des conglomérats puis des grés micacés tertiaires (Eocène à Oligocène).

➤ **Le flysch massylien :**

Les caractéristiques majeures de la série massyenne sont (J.P. Bouillin, 1977) :

- Un Albo-Aptien pélito-quartzitique.
- Un Cénomanién microbréchique à orbitolines et niveaux de phtanites noires et blanches.
- Un Turono-Sénonien sous forme de pélites et de petits bancs de microbrèches à éléments calcaires et ciment pélitique.

➤ **Le flysch numidien :**

Le flysch numidien forme une entité géologique à part. Généralement la nappe numidienne occupe la position structurale la plus haute de l'édifice alpin et repose en contact anormal sur toutes les formations précédentes. Ce flysch est attribué en partie à l'Aquitano-Burdigalien, comporte de bas en haut (J.P. Bouillin, 1977 ; J.C. Lahonder et al, 1979) :

- **A la base** : des argiles sous numidiennes, vari-colores de teinte rougeverte ou violacée à tubatomaculum d'âge Oligocène supérieur.
- Des grés numidiens de couleur jaunâtre à blanchâtre en bancs épais à quartz rouléstrès hétérogènes d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur (J.C. Lahonder et al, 1979).
- **Au sommet** : des formations supra-numidiennes comportant des argiles et des marnes à intercalation de silexites du Burdigalien basal.

**b : Les séries telliennes :**

Le domaine tellien correspond aux zones situées sur la paléo-marge africaine. Il est caractérisé par la prédominance de faciès marno-calcaires, qui s'étalent du Néocomien au Lutétien (J.P. Bouillin, 1977).

Les séries telliennes sont constituées par un empilement de trois grandes nappes, sont du nord vers le sud :

- **Une série ultra-tellienne** : Cette série comporte les formations marneuses et marno-calcaires d'âge Crétacé à Eocène (M. Durand Delga , 1969).
- **Une série méso-tellienne** : Cette série correspond aux formations carbonatées du Jurassique. Elle est considérée comme la couverture de la plate forme constantinoise (J.M. Vila, 1980).
- **Une série peni-tellienne** : Cette série se particularise par des formations Jurassico-Crétacées, caractérisées par des faciès intermédiaires entre les

faciès de la plate forme (calcaire et marno-calcaire du néritique) et des faciès de bassin (marne du domaine tellien) (M. Durand Delga, 1969).

### **I-3 : Les formations de l'avant pays :**

Les formations de l'avant pays sont représentées par des calcaires et des marnes de la plate forme constantinoise et du domaine atlasique. Ce domaine comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone (J.M. Vila, 1980).

**a : L'avant pays allochtone :** Il regroupe trois grandes unités :

- L'unité Sud Sétifienne.
- L'unité néritique Constantinoise.
- L'unité de type Sellaoua.

**b : L'avant pays autochtone :**

Il est représenté par des séries sédimentaires mésozoïques épaisses et très plissées. Ces séries sont principalement localisées au niveau de l'Atlas Tunisien, de l'Atlas Saharien, des monts du Hodna, des monts de Batna et des monts des Aurès.

### **I-4 : Les formations Post-nappes :**

Les formations post-nappes sont constituées de dépôts marins d'âge Burdigalien dans le Nord et des dépôts continentaux d'âge Miocène à Pliocène dans le bassin de Constantine (J.P. Bouillin, 1977 et Ph.A. Coiffait, 1992). Les formations post-nappes recouvrent en discordance toutes les formations précédentes. Dans la partie Nord ces formations post-nappes comportent deux cycle sédimentaires :

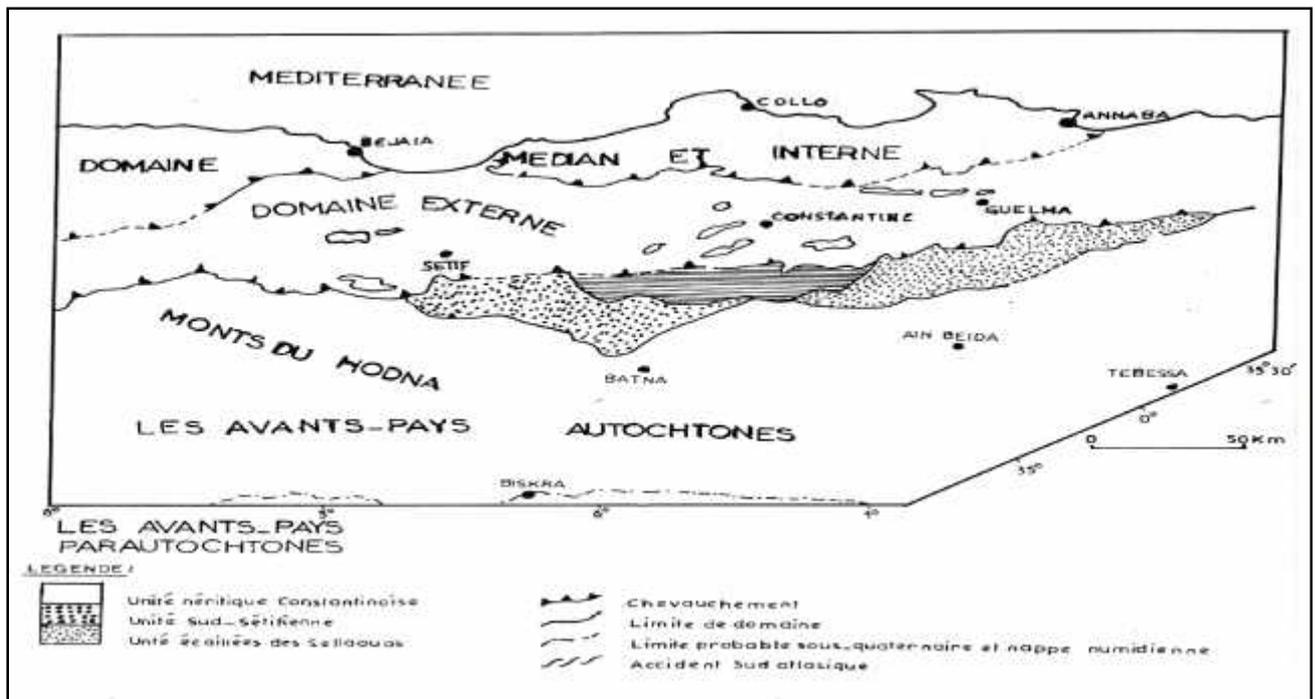
- **Un premier cycle**, essentiellement constitué par des marnes grises ou bleues transgressives et discordantes sur les structures anciennes. Elles reposent également sur le flysch Numidien, les flyschs Crétacé et sur l'OMK.
- **Un second cycle**, gréseux d'épaisseur réduit (5 à 50m) paraissant nettement transgressif.

Dans la partie Sud du massif de la petite Kabylie et particulièrement dans le bassin Néogène de Constantine, ces formations sont dominées par des dépôts continentaux comportant de conglomérats, sables, graviers, argiles, calcaires lacustres et roches évaporitiques (Ph. A. Coiffait, 1992).

**I-5 : Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie :**

La structuration géologique résultant de l'orogénèse Alpine en Algérie du Nord est constituée par un empilement d'unités allochtones charriées sur l'autochtone pré-saharien. Selon ces auteurs le dispositif structural est constitué par le socle Kabyle et sa couverture au Nord et les nappes de flyschs au Sud. Ces dernières ont subi une tectonique tangentielle majeure fini-Lutétienne à fini-Oligocène (J.P. Bouillin, 1977), reposent partiellement sur l'autochtone Saharien.

Au Burdigalien inférieur-moyen, la reprise des mouvements compressifs engendre le chevauchement du socle vers le sud et la mise en place de la nappe Numidienne. Cette phase de compression a été suivie par une phase de relaxation avec formation de bassins discordants où se met en place une sédimentation Burdigalienne (in Ph.A. Coiffait, 1992).



**Figure II-2 :** Esquisse structurale du Nord- Est Algérien (W. Wildi, 1983)

**II : La géologie local :****II-1 : Synthèse litho stratigraphique du bassin de Mila :**

Le bassin **néogène** de Mila, fait partie le secteur étudié, constitue la partie occidentale de la dépression Miocène de Constantine (le bassin néogène constantinois). Il est limité au Nord par l'arête montagneuse du M'cid Aicha et du Sidi Driss, au Sud par les massifs du Djebel Osmane et Djebel Grouz, à l'Est par les massifs du Djebel Akhal, de Chettaba et de Kheneg, et à l'Ouest par Djebel Boucheref et Oukissane (**Figure II-3**).

Les différents ensembles litho stratigraphiques représentés dans le bassin de Mila peuvent être résumés comme suit (**figure II-4**) :

**a : Les formations triasiques :[4]**

Les formations triasiques sont essentiellement représentées par des dépôts évaporitiques (gypse et sel gemme), des argiles bariolées, des grés, des roches carbonatées et des fragments de roches magmatiques métamorphisées (ophites).

Ces formations affleurent au pied de Djebel Chettaba, au Sud de Djebel Akhal et à l'Ouest de Sidi Marouane. elles affleurent généralement à la faveur de grands accidents tectoniques régionaux, notamment visibles le long de la transversale Nord-Sud El Milia - Beni Haroun où les affleurements triasiques se localisent principalement au niveau des nœudsdes grands failles affectant les formations telliennes (M, Durand Delga, 1955 et y, Bouftouha ,1988).

**b : Les formations jurassique :**

Les formations du jurassique affleurent au Djebel Chettaba, Djebel Akhalet Mcid Aicha. Elles forment une épaisse série de calcaires massifs comportant des horizons très fossilifères.

**➤ Le Lias :**

Il est représenté par des calcaires compactés et des dolomies massives du Lias inférieur et moyen, et des calcaires à Silex du Lias.

**➤ Le dogger :**

Il est représenté par des formations carbonatées comportant des calcaires, des marno-calcaires, et des dolomies.

**➤ Le Malm :**

Il est représenté par des calcaires fins, parfois Siliceux ou biodétritiques. Ces calcaires sont affectés par un phénomène de dolomitisation très important, notamment au Djebel Kheneg.

**c : Les formations du Crétacé inférieure et supérieure :****➤ Le Crétacé inférieur :**

Les formations de Crétacé inférieur sont caractérisées par des marnes, des marno-calcaires et des calcaires néritiques. Elles affleurent au Djebel Oukissane sous forme d'un faciès marneux au Nord Ouest et calcaires néritiques au Sud Est.

Elles affleurent également au Djebel Akhal et dans la région de Sidi Marouane (M Durand delga).

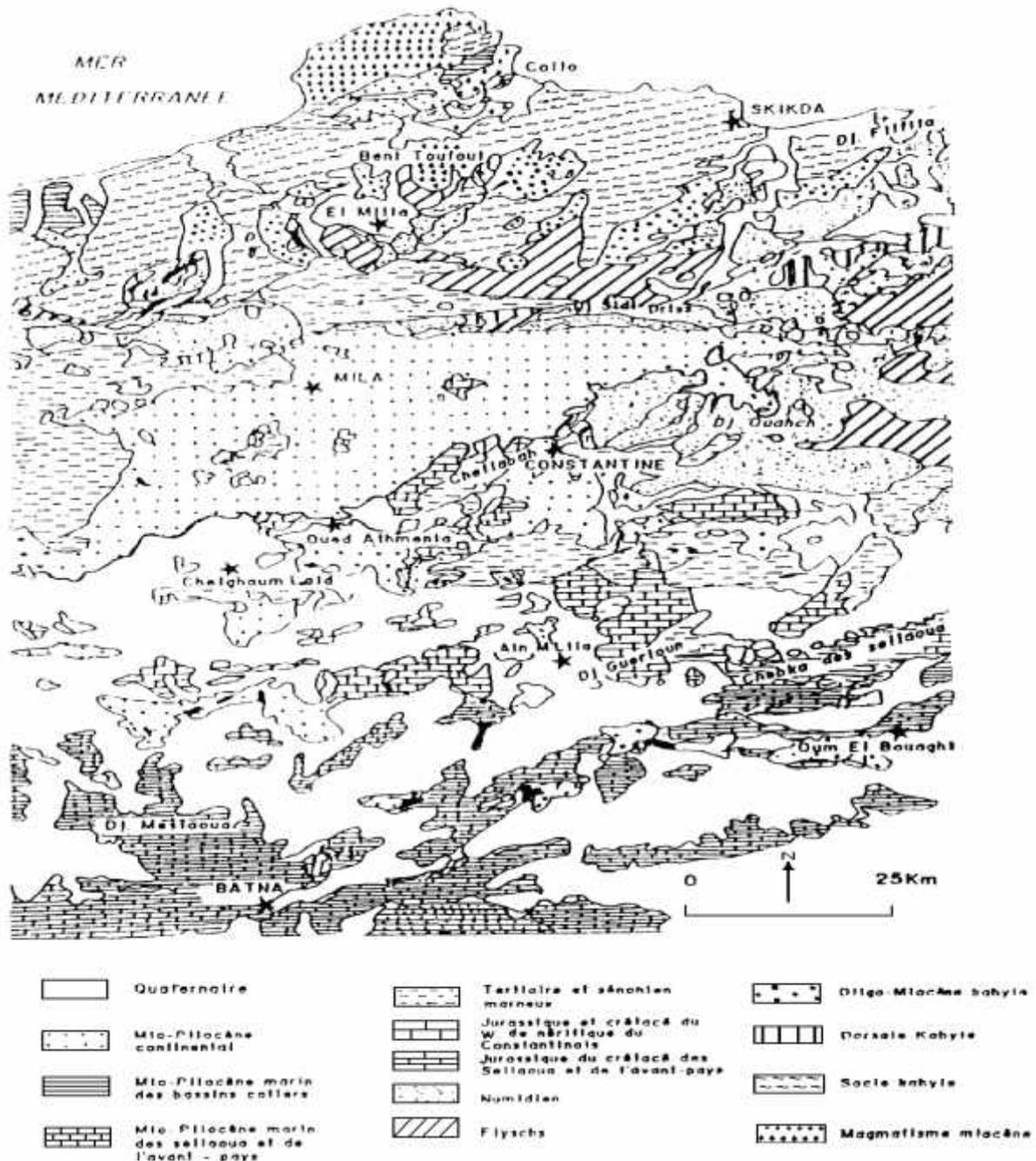


Figure II-3 : Carte géologique synthétique du bassin constantinois (J.M.Vila, 1980)

[5]

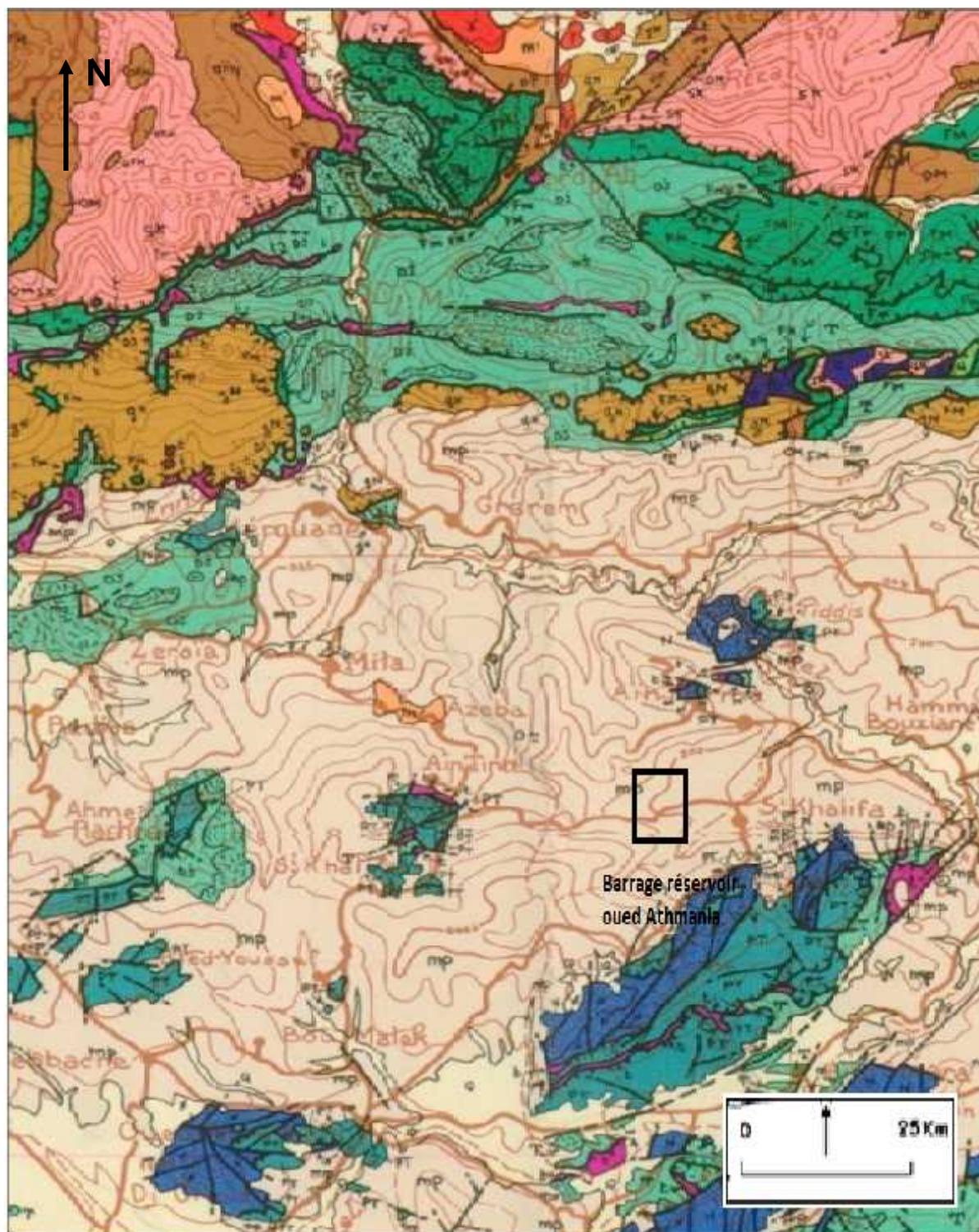


Figure II-4 : Carte géologique du bassin de Mila (J.M.Vila, 1980)

**La légende :**



➤ **Le Crétacé supérieur :**

Le Crétacé moyen à supérieur comporte des marno-calcaires peu épais de l'Albien, des marno-calcaires noduleux de couleur grise, des marnes grises bleutées parfois gypsifères marquées dans sa partie supérieure par une surface durcie du Sénonien

**d: Les formations du Paléogène :**

Le Paléogène dans le bassin de Milaest représenté par les formations du Paléocène et de l'Eocène.

- **Paléocène :** Le Paléocène est représenté par des marnes noires, affleurant sur les deux rives d'Oued El Kébir et sur le versant Nord Ouest d'Oued Endja.
- **Eocène :** L'Eocène est représenté par des calcaires Yprésien, affleurant à l'Ouest de Sidi Marouane et dans les gorges d'Oued El Kébir et en aval d'Oued Dib et des marnes à débit en plaquettes admettant à la base des passés gréseuses (petits bancs de grés d'ordre décimétrique) conférant à cette dernière un aspect flyschôide. Ces marnes sont très perturbées par la tectonique. Elles sont observées souvent en contact des calcaires Yprésien et parfois redressées à la verticale, notamment au niveau des limites du bassin.

La base de l'Eocène est représentée par des marnes noires à nodules jaunes, qui paraissent parfois reposer en légère discordance sur les marnes Sénoniennes, ces marnes noires sont surmontées par des calcaires à patine blanche de l'Yprésien (M. Durand Delga, 1955).

**e : Les dépôts Néogènes:**

Les dépôts néogènes du bassin de Mila sont essentiellement représentés par des dépôts détritiques (graviers, sables, conglomérats, et argiles), des dépôts évaporitiques (gypse et en moindre mesure de sel gemme) et des calcaires lacustres. Ces dépôts reposent sur un substratum formé par un empilement de nappe dans la partie septentrionale et sur des calcaires néritiques dans la partie méridionale .

Dans le bassin de Mila, ces dépôts sont largement dominés par des dépôts lagunomarin (argile, marne et évaporites). La mise en place de ces dépôts est datée du Miocène moyen (Serravallien) à Pliocène ,

**f : Les dépôts Quaternaires :**

Les dépôts Quaternaires recouvrent les formations précédentes. Elles sont représentées par des blocs de taille variable, noyés dans une masse d'argile rouge. Ces dépôts correspondent à des déplacements en masse sous forme de coulées boueuses (Ph.A.Coiffait, 1992).

Selon cet, auteur la ville de Mila est construite sur la plus importante coulée boueuse qui atteint 7 Km de longueur et 1.2 Km de largeur.

**II-2 : Géologie du secteur étudié :**

Dans le secteur étudié, les formations du substratum n'affleurent qu'au niveau de la limite septentrionale du bassin de Mila. Elles sont essentiellement représentées par des marnes noires du paléocène surmontées par des calcaires et des marnes de l'Eocène. Sur ces formations du substratum, les dépôts néogènes du bassin de Mila débutent par une base comportant des microconglomérats, de grés sableux beiges surmontés par des argiles marneuses à gypse, des conglomérats et des calcaires lacustres. Ces formations sont recouvertes par des dépôts Quaternaires.

**a : Les marnes du Paléocène :**

Ces marnes noires sont fortement feuilletées et se débitent en plaquettes, elles affleurent sur les deux rives d'Oued El Kébir, elles ont été reconnues par plusieurs forages lors des premières campagnes de reconnaissance. Les sondages carottés ont montré que l'altération ne se poursuit qu'à une profondeur assez limitée, c-à-d entre 0 et 4m de profondeur maximum dans le lit de l'Oued El Kébir et 4 à 5m de profondeur dans les appuis. Ces marnes montrent localement des traces de gypse et de calcite en remplissage des joints.

dans leur partie supérieure, on trouve sur 5m une alternance de marnes et de bancs de calcaires constituant la transition avec les couches supérieures.

**b : Les calcaires de l'Eocène attribués à l'Yprésien :**

La cartographie géologique détaillée du site a permis de différencier trois subdivisions des bancs de calcaires constituant l'appui du barrage : Calcaires marneux, calcaires à silex et calcaires de base.

Dans l'ensemble, ces roches se présentent en couches décimétriques à métriques de calcaires à grains fins, gris foncé à noir, durs et résistants. Certains lits de calcaires sont très durs car dolomitiques voire siliceux, alors que d'autres contiennent du silex noir. Le silex se présente sous forme de petits nodules (de diamètre 1 à 3cm) et de bandes minces (épaisses de 2 à 15cm). On trouve également de minces couches de marnes schisteuses en intercalation avec les calcaires (**Photo II-1**).



**Photo II- 1** : Illustration d'un calcaire à nodules de silex.

**c : les marnes de l'Eocène (d'âge Lutétien) :**

Les marnes éocènes sont presque identiques à celle des marnes du Paléocène, elles sont fortement déformées et altérées et se présentent à l'affleurement avec une couleur gris foncé à noir.

Les formations néogènes comportent de bas en haut les termes suivants :

**d : Les microconglomérats et grés sableux :**

Des microconglomérats et des grés sableux de couleur beige avec des niveaux argilo-sableux (**Photo II-2**). Ces grés affleurent au pied du versant Est du barrage de Beni Haroun, cette assise de grés est très perturbée par la tectonique.



**Photo II- 2 :** Illustration d'un banc de grés beige relevé au pied du versant.

**e : Les argiles marneuses à gypse :**

Les argiles marneuses à gypse recouvrent la majeure partie du secteur étudié, elles sont souvent grisbleutées ou vertes mais peuvent avoir une teinte ocre à jaunâtre ou brunâtre. Ces argiles marneuses admettent en intercalation des passées de gypse d'épaisseur centimétrique à décimétrique (**Photo II-3**). Les parties superficielles de ces assises montrent souvent des encroûtements calcaires.

Les données de sondages montrent que l'épaisseur de cette assise d'argiles marneuses gypsifère est de l'ordre de 30 à 50m.



**Photo II-3 :** Illustration des Argiles marneuses à gypse.

**f : Les conglomérats :**

Ces conglomérats se particularisent par leur grande hétérogénéité. Ils sont constitués d'éléments gréseux, carbonatés et silexites à matrice argilo-sableuse et carbonatée. Par ailleurs, ils montrent des passées métriques de grès (Photo II-4). Ces formations sont largement affectées par un réseau de failles et de décrochements de direction N - S et E - W.

Ces conglomérats s'affleurent dans la partie supérieure du versant Est du barrage de Beni Haroun, où ils sont traversés par la RN27.



**Photo II-04** : Illustration d'un conglomérat.

**j : Les calcaires lacustres :**

Ce sont des calcaires de teinte saumonée, alternant avec des niveaux d'argiles rouges, ces calcaires lacustres surmontent les conglomérats précédemment décrits. L'épaisseur de ces calcaires peut atteindre une dizaine de mètres.

**h : Les dépôts Quaternaires :**

Les dépôts quaternaires sont largement représentés dans le versant Est du barrage de Beni Haroun. Ils forment la couverture récente des formations décrites précédemment. Ces dépôts quaternaires sont constitués pour l'essentiel par des argiles rouges partiellement recouvertes par une tranche de terre végétale. La superposition des différents termes lithologiques précédemment décrits est bien représentée dans le front de taille indiqué dans la **(Photo II-5)**.



**Photo II-5** : Un front de taille illustrant la superposition des différents termes lithologiques du secteur étudié.

**Conclusion :**

La vallée d'Oued El Kaïm est creusée dans la partie Sud du bassin Néogène de Mila, où s'affleurent les formations géologiques suivantes :

- Les formations du substratum (Trias, Jurassique et le Crétacé inférieur)
- Les marnes grises de l'Eocène, ont été récoupées lors des travaux d'excavation.
- Les formations du Mio-Pliocène représentées par les dépôts continentaux, qui sont de bas en haut:
  - Une bande de grés jaunâtres ;
  - Des argiles marneuses à gypse.
  - Des conglomérats hétérogènes constitués d'éléments gréseux carbonatés et silexites à matrice argilo-sableuse.
  - Des dalles de calcaires lacustres d'épaisseur variable pouvant atteindre jusqu'à 5m.
- Les dépôts Quaternaires.

L'assiette du barrage d'Oued El Kaïm est caractérisée par la présence de deux barres de calcaire lacustre, sur la rive gauche l'escarpement est orienté N78°E-8°SE, et sur la rive droite l'escarpement est orienté N112°E-6°NW.

**Introduction :**

Pour compléter l'étude du complexe physique de bassin versant, une analyse des facteurs climatiques s'avère nécessaire, elle permet de suivre et de comprendre les variations climatiques sur une période de 20 ans au minimum. Elle regroupe plusieurs paramètres : les températures, les précipitations, le vent et l'humidité relative. Elle joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux qui ont une influence direct ou indirect sur le régime d'écoulement.

**Remarque : le barrage réservoir de Oued Al Athmania et le barrage Hammam Grouz représente presque la même altitude, pour cette raison on a pris les données de Hammam Grouz comme référence de notre étude climatologique.**

**On dispose d'une série de mesures hydrométriques réalisées par l'Agence Nationale des ressources hydriques à la station de Hammam Grouz contrôlant un bassin versant limitrophe au bassin qui nous importe.**

**I : Caractéristiques climatiques : [1]****I-1 : Les Précipitations :**

Elles constituent un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau.

D'après le **[tableau III-1]** de la précipitation moyenne annuelle et mensuelle durant une série d'observation de 26ans, cette série de données pluviométriques permet de ressortir les différents aspects pluviométriques caractérisant le sous-bassin versant. Selon les données (annexe), l'année la plus pluvieuse qu'a connue la région correspond à l'année 2003, dont laquelle a été enregistré le plus fort taux de précipitation avec une moyenne de 666.9 mm, alors que l'année sèche est l'année 2001 avec une basse quantité de précipitation de l'ordre de 243.7mm. La moyenne annuelle de précipitation au cours d'une série d'observation de 26 ans est de l'ordre de 422.16mm/an.

I-1-1 : La Répartition moyenne mensuelle et saisonnière des précipitations :

Tableau III-1 : Répartition moyennes mensuelle et saisonnières des précipitations en mm et en % (station du barrage Hammam Grouz 1990 -2015).

(1990-2015)	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
Precipitation [mm]	41,82	29,01	43,13	51,43	53,28	40,15	38,33	45,78	44,12	15,28	6,91	12,91	422,16
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Précipitation saisonnière [mm]	113,96			144,86			128,23			35,1			422,16
Précipitation moyenne saisonnière [%]	27,0			34,32			30,37			8,31			100%

Pour avoir une idée plus claire sur la pluviométrie de la région, on a dressé un tableau pour suivre l'évolution temporelle de ce paramètre. L'évolution de cette pluviométrie montre que : **[Tableau III-1 et Figure III-1]**.

La courbe des précipitations mensuelles montre la variation des précipitations d'un mois à un autre, le mois de janvier est le mois où enregistre le maximum des précipitations (53,28 mm), le minimum à la station de Hammam Grouz est enregistré au mois de juillet (6,91mm)

La saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation de 144,86 mm soit 34,32% de la précipitation totale, et la saison la plus sèche est l'été avec une précipitation de 35,1 mm soit 8,31 % de la précipitation totale. **[Figure III-2]**

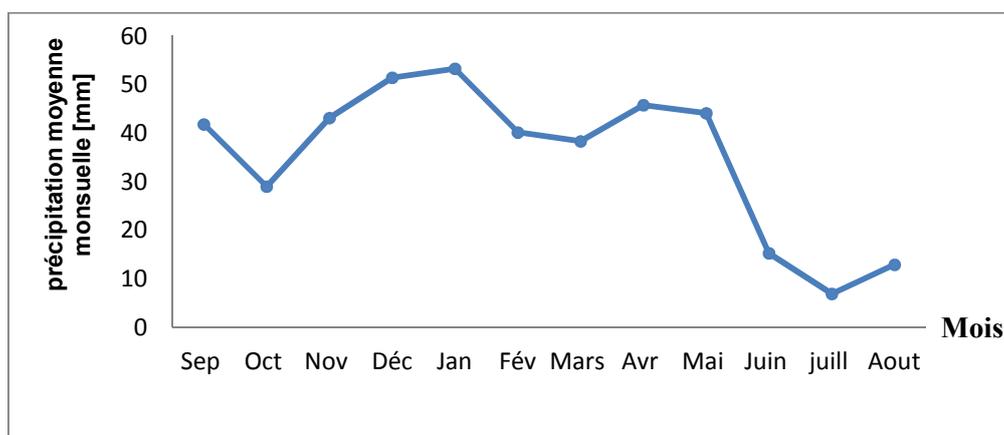
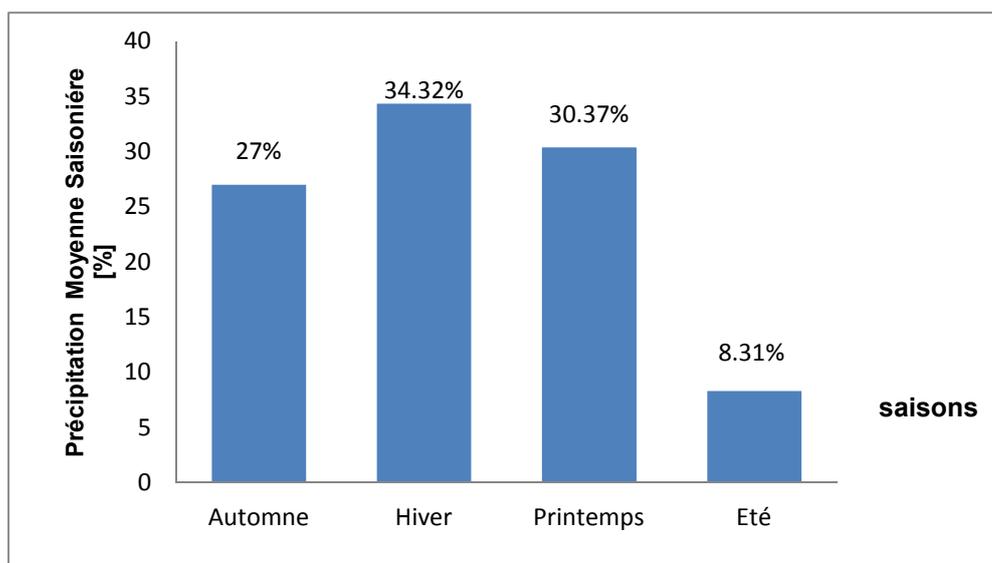


Figure III-1: La répartition de la précipitation moyenne mensuelle interannuelle (Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015).



**Figure III-2 :** Histogramme de la précipitation moyenne saisonnière [Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015].

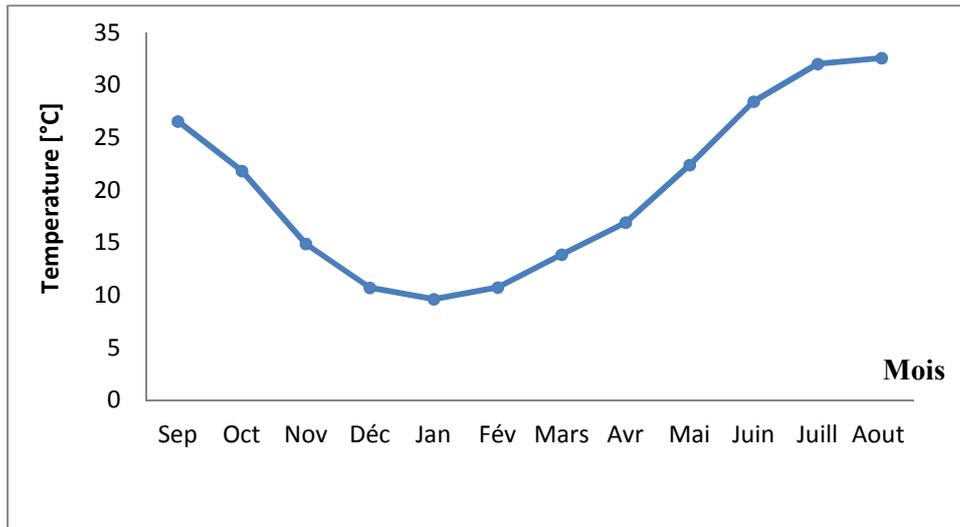
**I-2 : Les températures :**

Les températures de l'aire constituent l'autre élément majeur qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique. En effet, il influe sur ce dernier du fait qu'il conditionne l'évaporation.

**Tableau III-2 :** Les températures moyennes mensuelles [Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015].

MOIS	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	juill	Aout	Moy
Température moyenne mensuelle [°C]	26,54	21,83	14,89	10,71	9,62	10,74	13,87	16,92	22,40	28,43	32,01	32,57	<b>20.04</b>
Température moyenne minimale[°C]	22,7	17,38	10,83	7,71	5,75	4,7	9,35	12,43	17,13	23,15	27,57	28,35	<b>15,31</b>
Température moyenne maximale [°C]	32,15	31,6	18,69	14,95	15,36	15,47	21,45	20,89	28,23	33,44	35,75	37,74	<b>23.00</b>
Température moyenne saisonnière [°C]	<b>Autumn : 21.09</b>			<b>Hiver : 10.36</b>			<b>Printemps :17.73</b>			<b>Eté : 31.00</b>			<b>20;04</b>

L'analyse des données de la température mensuelle moyenne montre que le mois le plus froid est le mois de Janvier (9.62 °C), alors que le mois le plus chaud est celui d'Août (32.57 °C).



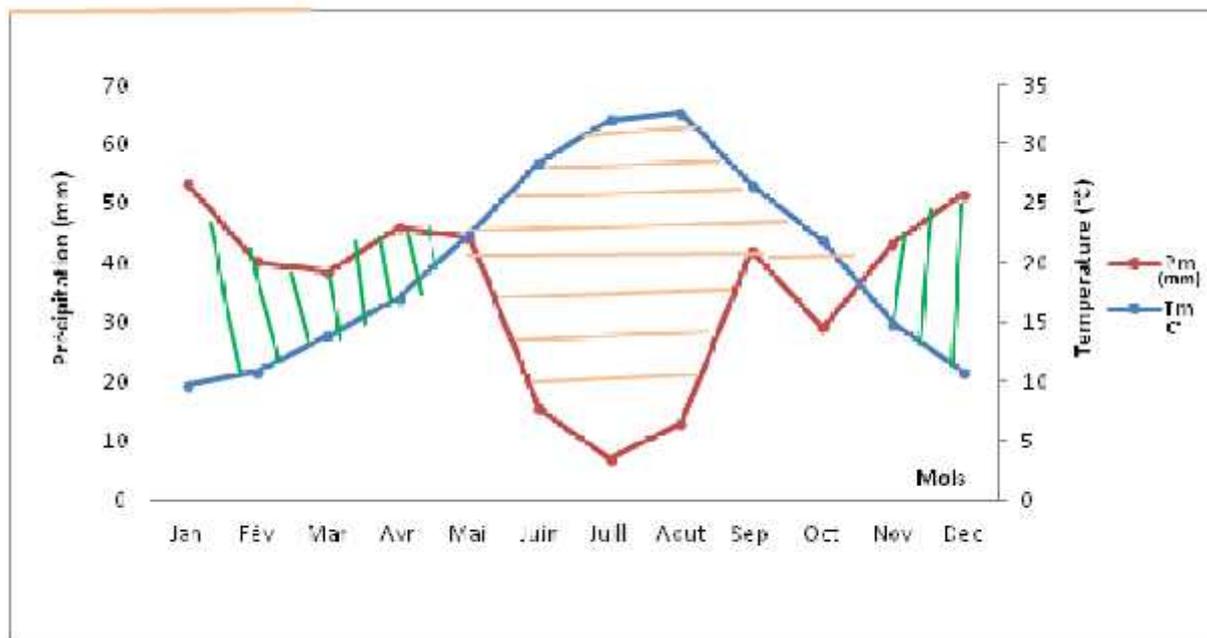
**Figure III-3** : Répartition des températures moyennes mensuelles  
[Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015]

L'allure de la courbe (**Figure III-3**) des températures de la série analysée, montre que la température de l'air décroît de Septembre jusqu'à Janvier et ensuite elle augmente pour atteindre son maximum pendant le mois d'Août. La variation des températures [**Le Tableau III-2**], montre que la température moyenne saisonnières est de l'ordre de (31.00 °c) en Eté et de 10.36 °c en Hiver, alors que la température moyenne mensuelles atteint son maximum au mois de Aoute (32.57 °c) et son minimum au mois de Janvier (9.62°c). La moyenne annuelle des températures est de l'ordre de (20.04°c).

### **I-3 : La relation précipitation- température (Diagramme Ombro-Thermique) :**

Le diagramme ombre-thermique (courbe pluvio-thermique) est établi en (1953) par Gausсен et Bagnouls, dont le principe est la combinaison des deux facteurs température et précipitation c'est celui où le total moyen des pluviométries est inférieur ou égal au double de la température moyenne du même mois ( $P \leq 2T$ ).

Lorsque la courbe de précipitation passe au dessus de la courbe de température, il s'agit d'une période excédentaire (humide), par contre si la courbe de température passe au dessous de courbe de température implique une période déficitaire sèche.



**Figure III-4:** Diagramme Ombro -Thermique durant la période (Station du barrage Hammam Grouz, 1990-2015).

 : Période sèche.

 : Période humide.

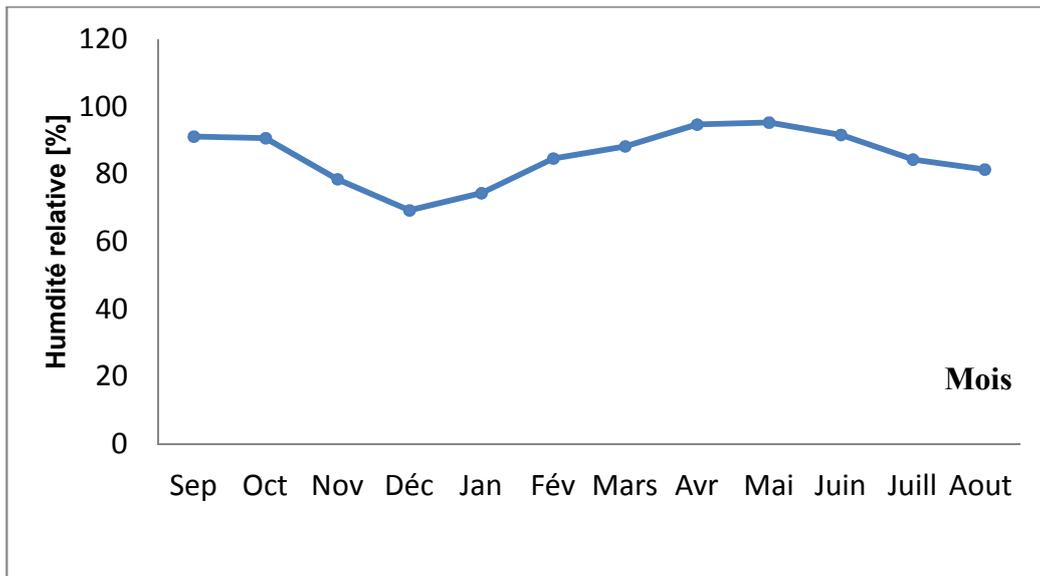
La région d'étude est caractérisée par un climat possédant une saison sèche qui s'étend du mois Mai jusqu'à la moitié de mois d'Octobre, et une saison humide qui s'étend de fin Octobre au mois de Mai [Figure III-4]

**I-4 : Humidité relative :**

L'humidité est le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et la pression de saturation à la même température, elle est exprimée en %. Elle peut jouer le rôle de facteur catalyseur pour les réactions d'altération chimique des roches à la surface, comme par exemple le phénomène d'oxydation.

**Tableau III-3 :** Valeurs moyennes mensuelles et saisonnières de l'humidité relative (Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
Humidité relative mensuelle[%]	91,2	90,72	78,55	69,3	74,4	84,7	88,3	94,75	95,35	91,7	84,4	81,45
Humidité relative saisonnière[%]	86,82			76,13			92,8			85,85		



**Figure III-5:** Répartition de l'humidité relative  
(Station du barrage Hammam Grouz 1987-2012)

Selon les résultats obtenues, l'humidité moyenne mensuelle atteint un maximum au mois Mai (95.35) et un minimum au mois de décembre (69.3%).

[Tableau III-3], [Figure III-5]

**I-5 : L'aridité :**

C'est l'état du climat qui permet d'évaluer le phénomène de désagrégation et d'érosion. L'indice d'aridité " I " est donné par la formule de D. Martonne(1925) :

$$I = (P_{\text{moy}} / (T_{\text{moy}} + 10))$$

Avec : I : Indice d'aridité de D. Martonne.

$P_{\text{moy}}$  : Précipitation moyenne annuelle (mm). (dans notre cas :  $P=422,16$  mm)

$T_{\text{moy}}$  : Température moyenne annuelle (°c). (dans notre cas :  $T=20,04^{\circ}\text{C}$ )

D. Martonne donne aussi une classification correspondant des types de climats selon l'indice d'aridité "I" :

- $I < 5$  => Le climat hyper aride
- $5 < I < 10$  => Le climat très sec (désertique)
- $10 < I < 20$  => Le climat est sec (semi aride).
- $20 < I < 30$  => Le climat est très humide (hyper humide).

La station de Hammam Grouz montre un type de climat semi-aride, caractérisé par deux saisons, l'une humide et froide, et l'autre sèche et chaud.

**I-6 : Le vent :**

Il constitue un facteur limitant par sa fréquence, sa température et son degré hygrométrique, les vents exercent sur la végétation en place influence considérable. Le vent a une forte évapotranspiration. En effet, dans certaines zones, son intensité est telle qu'il perturbe La région d'Oued Athmania est généralement traversée par des vents d'une vitesse moyenne de 0.56 m/s, voire empêche la croissance des arbres.

**I-7 :L'évaporation :**

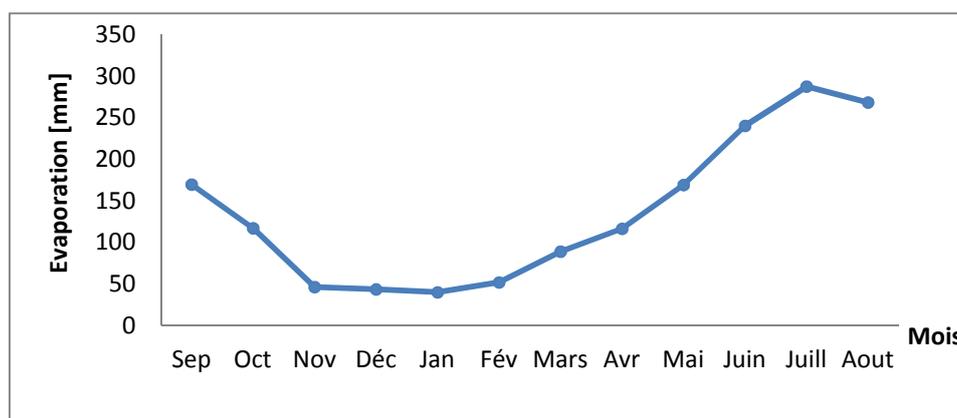
Le terme évaporation désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, soit par évaporation direct (à partir de sol), ou par transpiration des organes des plantes.

Cependant, il est utile de faire la distinction entre la notion d'évapotranspiration potentielle et réelle.

Le **Tableau III-8**, montre que l'évaporation atteint son maximum au mois de juillet (287.52 .mm) et son minimum au mois de janvier (39.93mm). L'évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de (1638.49mm).

**Tableau III-4 :** Evaporation moyenne mensuelle et saisonnière (station du barrage Hammam Grouz 1990-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy
E. Moy .Mons [mm]	169.61	117.02	46.33	43.46	39.93	51.84	88.88	116.4	169.04	240.12	287.52	268.34	136.54
E.M Saiso [mm]	332.96			135.23			374.32			795.98			1638.49



**Figure III-6:** L'évaporation moyenne mensuelle durant la période (Station du barrage Hammam Grouz 1990-201)

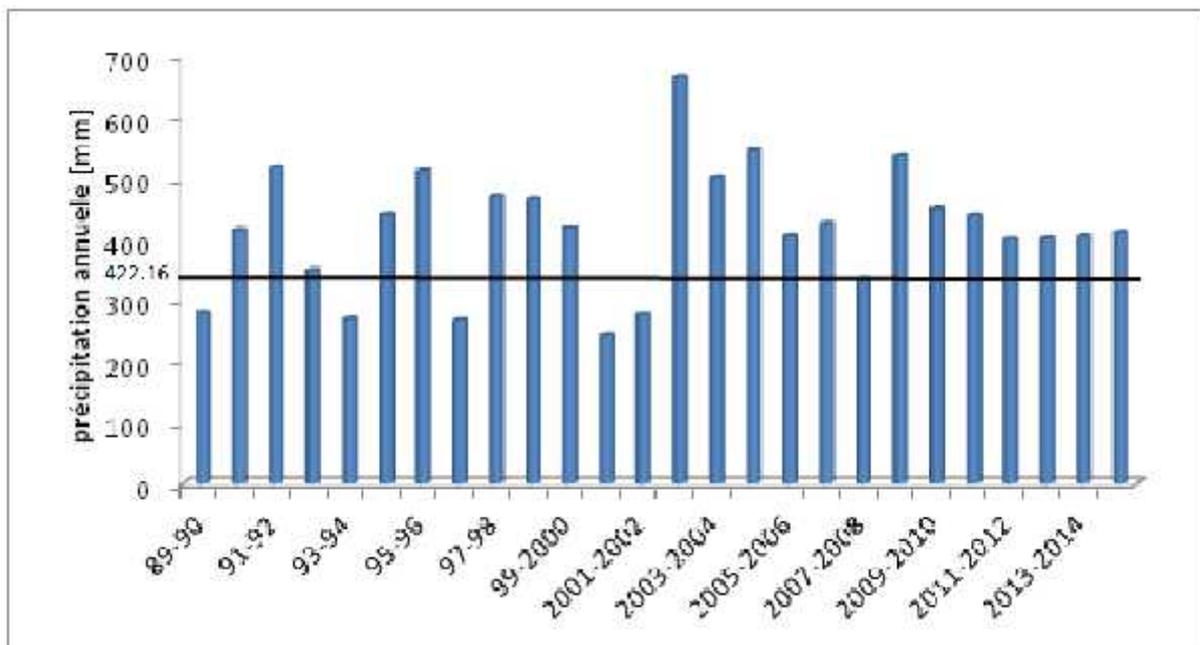
**I-8 : Le coefficient pluviométrique :**

C'est un paramètre climatique important, représentant le rapport de la pluviométrie de l'année considérée au module pluviométrique pour la station donnée soit:

$$H = H_i / \bar{H}$$

- Avec : H : Coefficient pluviométrique ;
- $\bar{H}$  : Pluviométrie moyenne pour une période de N années
- $H_i$  : Pluviométrie d'une année donnée en (mm).

Ce coefficient pluviométrique permet de déterminer les années excédentaires ( $H > 1$ ) et les années déficitaires ( $H < 1$ ). [Tableau III-5].



**Figure III-7:** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles [Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015].

Selon le **tableau III-5** on remarque que :

Les années déficitaires présentent 53,85% de la série d'observation de 26 ans (14ans), Les années excédentaires 46.15% de la série d'observation de 26 ans (12ans).

**Tableau III-5** : Valeurs du coefficient pluviométrique  
(Station du barrage Hammam Grouz 1990-2015)

Année	P annuelles (mm)	Coefficient pluviométrique (H)	Observation
1989-1990	280,7	0,66	Déficitaire
1990-1991	415,4	0,98	Déficitaire
1991-1992	519,6	1,23	Excédentaire
1992-1993	350	0,83	Déficitaire
1993-1994	271	0,64	Déficitaire
1994-1995	441,3	1,05	Excédentaire
1995-1996	512,6	1,22	Excédentaire
1996-1997	268,8	0,64	Déficitaire
1997-1998	470,9	1,12	Excédentaire
1998-1999	466,4	1,10	Excédentaire
1999-2000	419	0,99	Déficitaire
2000-2001	243,7	0,58	Déficitaire
2001-2002	278,1	0,66	Déficitaire
2002-2003	666,9	1,58	Excédentaire
2003-2004	501,7	1,19	Excédentaire
2004-2005	547	1,30	Excédentaire
2005-2006	406,6	0,96	Déficitaire
2006-2007	423,80	1,01	Excédentaire
2007-2008	335,4	0,79	Déficitaire
2008-2009	538,3	1,28	Excédentaire
2009-2010	449,7	1,07	Excédentaire
2010-2011	439,9	1,04	Excédentaire
2011-2012	400,9	0,95	Déficitaire
2012-2013	402,9	0,95	Déficitaire
2013-2014	406,1	0,96	Déficitaire
2014-2015	412,3	0,98	Déficitaire

### **I-9 : Détermination de l'humidité de sol (méthode d'EUVERTE) :[6]**

La méthode d'EUVERTE fait appel à deux paramètres essentiels qui sont la température (T) et la précipitation (P). Le rapport P/T permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol et de définir 4 types de régimes :

- Un régime très sec quand :  $P/T < 1$  ;
- Un régime sec quand :  $1 < P/T < 2$  ;
- Un régime sub- humide quand :  $2 < P/T < 3$  ;
- Un régime humide quand :  $P/T > 3$

Le calcul de ce rapport permet de dire qu'on a les quatre régimes pendant toute l'année, le mois de Mai est sec puis on passe à un régime très sec pendant les mois de Juin, Juillet et Août, puis le régime devient sec au mois de Septembre et Octobre puis subhumide au mois de Novembre et Mars et avril puis humide le reste de l'année (3 mois restant). [Tableau III-6].

**Tableau III-6** : Les différentes valeurs mensuelles de rapport P/T (humidité) selon la méthode de méthode d'EUVERTE :

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
P(mm)	41,82	29,01	43,13	51,43	53,25	40,15	38,33	45,78	44,12	15,28	6,91	12,55
T(°C)	26,54	21,83	14,89	10,71	9,62	10,74	13,87	16,92	22,4	28,43	32,01	32,57
P/T	1,57	1,33	2,90	4,80	5,53	3,74	2,76	2,70	1,97	0,54	0,21	0,39

## II : Calcul de l'évapotranspiration :

**II-1 : Définition** : Les hydrologues désignent par évapotranspiration l'ensemble des phénomènes qui transforment l'eau liquide en vapeur par un processus spécifiquement physique.

**II-2 : Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)** :L'ETP est en fonction de la température et de l'altitude du lieu considéré, la formule de THORNTHWAITE s'écrit comme suite :

$$ETP_c = 16 \left[ 10 \frac{t}{I} \right]^a . K$$

Où : ETPc : évapotranspiration potentielle corrigée en (mm) ;

T: Température mensuelle en (°C) ;

I : Indice de chaleur, c'est la somme des indices thermiques moyennes mensuelles ' i ' où :

$$I = \sum i \quad \text{avec:} \quad i = (T / 5)^{1.514}$$

a : l'exposant climatique égale à :  $a = \frac{1.6I}{100} + 0.5$

K : Facteur de correction en fonction de la durée de journée.

**Tableau III-7:** Calcul de l'ETP<sub>c</sub> selon la formule de Thornthwaite

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Total (ETP)=953,65mm	
P(mm)	41,82	29,01	43,13	51,43	53,25	40,15	38,33	45,78	44,12	15,28	6,91	12,55		
T(°c)	26,54	21,83	14,89	10,71	9,62	10,74	13,88	16,92	22,4	28,43	32,01	32,49		
I	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38	104,38		
ETP	121,23	79,34	34,59	16,92	13,40	17,02	29,65	45,64	83,90	140,75	182,07	189,05		
K	1,03	0,96	0,84	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17		
ETP <sub>c</sub>	124,87	76,17	29,05	14,04	11,53	14,30	30,54	50,21	102,36	173,12	227,58	221,19		

**II-3 : Calcul de l'évapotranspiration réelle(ETR), ou déficit d'écoulement :**

L'évapotranspiration réelle (ETR), est appelé souvent déficit d'écoulement (DE), est définie comme étant la quantité d'eau évaporée ou transpirée effectivement par le sol, les végétaux et par les surfaces d'eau libre ; Elle dépend de l'aération et de la quantité d'eau disponible. Pour l'estimation de l'ETR, on a utilisé plusieurs formules et méthodes qui utilisent la température et les précipitations.

**a : Formule de TURC :**

Cette formule est applicable à tous les climats du globe. Elle fait intervenir les précipitations et les températures moyennes annuelles.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left[\frac{P}{L}\right]^2}}$$

Où : ETR : Evapotranspiration réelle ;

P : Précipitation moyenne annuelle =422.16mm.

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

T : Température moyenne annuelle

L'application de cette formule permet d'avoir un ETR de 337.5 mm, ce qui représente 79.95% des précipitations.

**b : Formule de Coutague :**

Elle tient compte de la pluviométrie et de la température également et elle à la forme suivante :

$$D = P - \lambda p^2$$

Avec :

$\lambda$  : Qui est un paramètre dépendant de la température :  $\lambda = 1/(0.8+0.14 \cdot T)$

Dans notre cas et par une application numérique on trouve :  $\lambda = 0.277$ .

D : Déficit d'écoulement en (m/an) ;

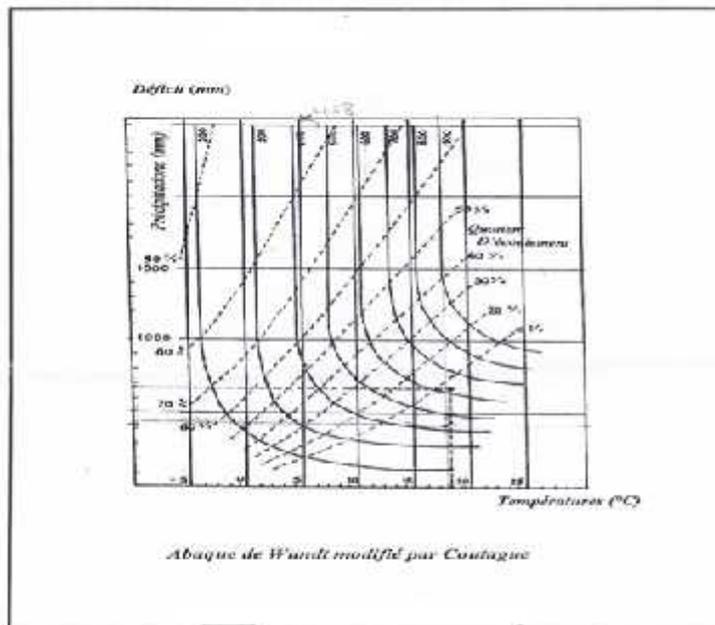
P : Précipitation moyenne annuelle en (m) [P= 0.42216 m] .

T : Température moyenne annuelle en °C [T = 20.04 °C].

Cette formule est valable pour P comprise entre  $1/8\lambda$  et  $1/2\lambda$ , cette condition est vérifiée  $0.4 < 0.42 < 1.8$ .

**c-Méthode de Wundt :**

La valeur de l'ETR est déduite du digramme de Wundt qui tient compte de la température et de la précipitation moyenne annuelle.



**Figure III-8 :** Diagramme de Wundt

Donc : ETR=418 soit 99.01% des précipitations

**Tableau III-8:** Récapitulatif des valeurs de l'ETR et de l'ETP à 1990-2015

Paramètres	Méthodes	Valeurs (mm)	Valeurs en (%)
ETP (mm)	THORNTHWAITE	89.58	21.22
ETR (mm)	TURC	337.5	79.95
	COUTAGUE	372.79	88.31
	WUNDT	418	99.01
	THORNTHWAITE	394.93	93.55

On peut dire que les valeurs de l'ETR obtenues par les différentes méthodes sont assez proches, moyennement supérieure à celle obtenues par la méthode de Coutague et Thornthwaite, avec écart de 9.03%.

**II-4 : Estimation du bilan Hydrique :**

Le but de l'analyse du bilan d'eau est d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique

Selon Thornthwait l'expression de la différences entre la précipitation et l'ETP d'un bassin ou d'un sol donnée pendant une période déterminé généralement :

$$P = ETR - I + R$$

Si:  $P > ETP$  :  $ETR = ETP$

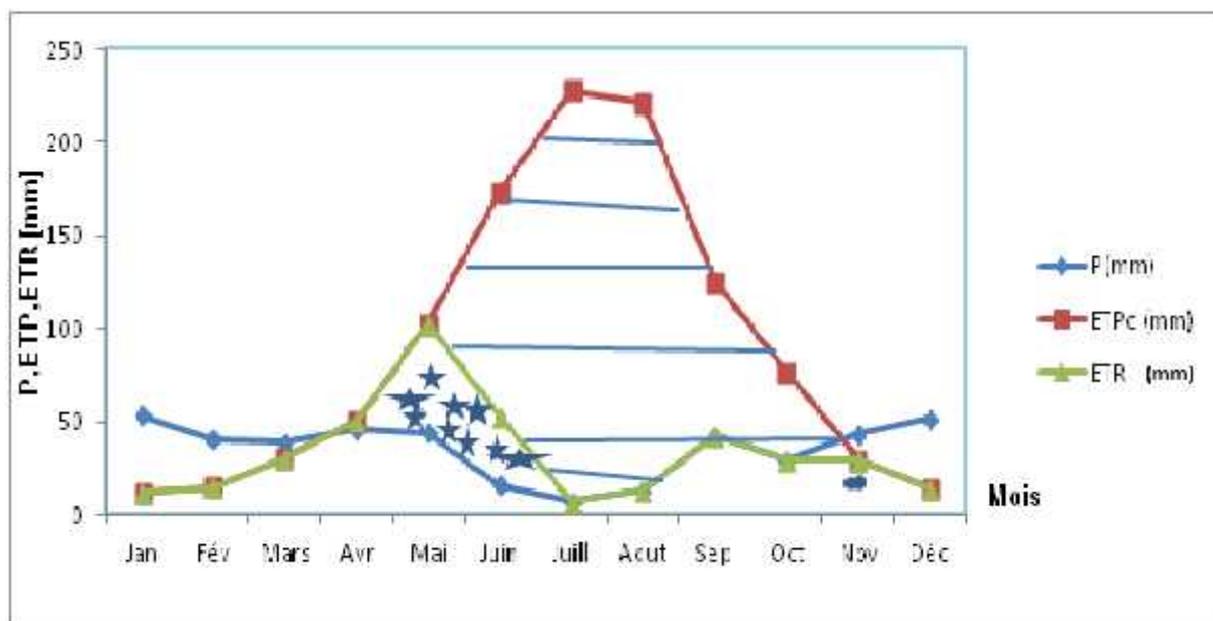
Il reste une quantité d'eau  $P - ETP$  qui va alimenter la RFU (Réserve Facilement Utile)

Si :  $P < ETP$  et  $RFU = 0$  ;  $ETR = P$

Si :  $P < ETP$  et  $RFU \neq 0$   $\left\{ \begin{array}{l} P + RFU > ETP, ETR = ETP \\ P + RFU < ETP, ETR = P + RFU \end{array} \right.$

**Tableau III-9** : Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) selon Thornthwaite durant la période : 1990-2015

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
P(mm)	41,82	29,01	43,13	51,43	53,25	40,15	38,33	45,78	44,12	15,28	6,91	12,55
ETP <sub>c</sub> (mm)	124,87	76,17	29,05	14,04	11,53	14,30	30,54	50,21	102,36	173,12	227,58	221,19
P-ETP (mm)	83,05	47,16	14,08	37,39	41,72	25,85	7,79	4,43	58,24	157,84	220,67	208,64
RFU (mm)	0	0	14,08	51,44	93,34	100	100	95,57	37,03	0	0	0
ETR (mm)	41,82	29,01	29,05	14,04	11,53	14,30	30,54	50,21	102,36	52,61	6,91	12,55
Excédent (mm)	0	0	0	0	0	0	19,19	7,79	0	0	0	0
Déficit Agricole (mm)	83,05	47,16	0	0	0	0	0	0	0	84,51	220,67	208,64



**Figure III-9** : Représentation graphique du bilan hydrologique (1990-2015).

- : Excédent d'eau.
- : Déficit agricole.
- ★ ★ : Epuisement de réserve.
- : Recharge en eau du sol.

Les résultats du bilan d'eau représenté par le graphique montre qu'il y'a 04 périodes :

- L'excédent d'eau à partir de janvier jusqu'à mi-avril, puis dans les mois de novembre et décembre.
- Dans le mois de Mai il y'a un déficit agricole et un épuisement de réserve ; ce dernier est proche de zéro au juillet.
- Durant mi- Octobre et 2 éme semaine de novembre il y'a un recharge en eau du sol.

**Bilan d'eau :**

Le but de l'analyse du bilan d'eau est d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique.

 **Calcul du Ruissellement " R " :**

Selon Tixeront-Berkaloff :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Avec : P = 422.16 mm = 0.42216 m  
ETP = 953,65 mm = 0.95365m. => R = 27,16 mm

Soit: **R = 0.74 %** des précipitations.

 **Calcul d'infiltration moyenne" I " :**

$$P = ETP + R + I + W_a$$

Où: W<sub>a</sub>: excédent ou waters surplus en mm.

Avec : ETR = 394.93 mm. R = 3.13 mm. P = 422.16 mm.

Considérons: W<sub>a</sub> = 0 => **I = 329.45mm**

Soit : **I = 78.04%** des précipitations.

 **Comblement de la retenue :**

Dans le cadre de la mobilisation des ressources en eau superficielles en vue d'une utilisation rationnelle et planifiée de ce facteur vital qui est l'eau.

L'Hydro Projet Est, à réaliser des études d'inventaire de site de retenues collinaires et de barrages a travers la wilaya de Mila, parmi celles, le sous-bassin versant d'Oued El Kaïm.

 **Calcul des apports liquides :**

L'évaluation des apports liquides est estimée à partir des formules empiriques suivantes : [7]

**1 – Formule de SAMIE :**

$$1- L_e = \bar{P}_0^2(293 - 2,2\sqrt{S})$$

Avec :  $L_e$  : Lamme d'eau écoulée (m).

$\bar{P}_0$ : Précipitation moyenne annuelle en (m) ;

S : Superficie en Km<sup>2</sup>.

$$\text{Donc : } L_e = 0.178 (293 - 2,2 \sqrt{16.5}) = 50.63 \text{ (mm)}$$

$$2- L_e = 289 (\bar{P}_0 - 0.076)^2$$

Avec :  $L_e$  : Lamme d'eau écoulée [mm].

$\bar{P}_0$ : Précipitation moyenne annuelle [m] ;

$$\text{Donc: } L_e = 289 (0.42216 - 0,076)^2 = 34.63 \text{ (mm)}$$

$$3- L_e = 0,784 (\bar{P}_0 - 0,232)^2$$

Avec :  $L_e$  : Lamme d'eau écoulée (m)

$\bar{P}_0$  : Précipitation moyenne annuelle (m)

$$\text{Donc : } L_e = 0,784 (042216 - 0,232)^2 = 0.2835 \text{ m} = 28.35\text{mm}$$

**L'apport liquide :**

$$\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3} \text{ (Hm}^3\text{)}$$

$L_e$  : Lamé d'eau écoulée

$S$  : Superficie du bassin versant ( $Km^2$ ) ;

$$\left\{ \begin{array}{l} 1- \bar{A} = 50.53 * 16.5 * 10^{-3} = 0.84 \text{ Hm}^3 \\ 2- \bar{A} = 34.63 * 16.5 * 10^{-3} = 0.57 \text{ Hm}^3 \\ 3- \bar{A} = 28.35 * 16.5 * 10^{-3} = 0.47 \text{ Hm}^3 \end{array} \right.$$

**2- Formule dite ALGERIENNE :**

$$L_e = \bar{P}_0 (1 - 10^{-k \bar{P}_0^2})$$

Avec :  $L_e$  : Lamé d'eau écoulée (m)

$\bar{P}_0$  : Précipitation moyenne annuelle (m)

$k$  : Coefficient dépendant de la surface du bassin versant

$$k = 0,18 - 0,01 \cdot \text{Lg}_{10}(S)$$

$S$  : Superficie du bassin versant ( $Km^2$ )

L'apport moyen annuel est donc :  $\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3}$

$$k = 0,18 - 0,01 \cdot \text{Lg}_{10}(16.5) = 0.17$$

$$L_e = 0.42216 (1 - 10^{-(0.17) \cdot (0.42216)^2}) = 28.44 \text{ m} \rightarrow \bar{A} = 28.44 * 16.5 * 10^{-3} = 0.47 \text{ Hm}^3$$

**3- Formule de MALLET- GAUTTHIER :**

$$L_e = 0,6 \bar{P}_0 (1 - 10^{-0,36 \bar{P}_0^2})$$

Avec :  $\bar{P}_0$  : Précipitation moyenne annuelle (m)

$L_e$  : Lamé d'eau écoulé

$$L_e = 0,6 * 0.42216 (1 - 10^{-0,36 \cdot 0.42216^2}) = 34.79 \text{ (m)} ;$$

L'apport moyen annuel sera donc :  $\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3}$  ;

$$\bar{A} = 34.79 \cdot 16.5 \cdot 10^{-3} = 0.57 \text{ Hm}^3$$

**4- Formule de TURC:**

$$L_e = \bar{P}_0 \cdot \frac{\bar{P}_0}{\sqrt{\left[0,9 + \frac{\bar{P}_0^2}{L^2}\right]}}$$

Avec :  $L_e$  : Lamme d'eau écoulée (m)

$\bar{P}_0$  : Précipitation moyenne annuelle (m)

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 = 1203.41;$$

$$L_e = 22.84 \text{ m}$$

L'apport moyen annuel sera donc :  $\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3}$

$$\bar{A} = 22.84 \cdot 16.5 \cdot 10^{-3} = 0.38 \text{ Hm}^3$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans **[tableau III-10]**

**Tableau III-10 : Tableau récapitulatif**

FORMULES	Lamme d'eau écoulée (mm)	Apport annuel (Hm3)
SAMIE	50.63	0.84
	34.63	0.57
	28.35	0.47
ALGERIENNE	28.44	0.47
MALLET- GAUTTHIER	34.79	0.57
TURC	22.84	0.38
<b>Moyenne</b>	<b>33.28</b>	<b>0.55</b>

**Conclusion:**

La région qui on a étudiée est caractérisée par un climat semi-aride d'une précipitation moyenne annuel  $P=422.16$  mm et une température moyenne annuel de  $22.04$  °C, la partie consacré a la climatologie a montré que la région de oued el Kaim reste relativement bien arrosée, la région est caractérisée par deux saisons ,l'une humide s'étendant de mi-octobre au moi de Mai ;avec une évapotranspiration réel de  $394,93$  mm ,une infiltration de  $329,45$  mm.

**Introduction :**

Le chimisme des eaux dépend essentiellement de la nature des milieux traversés et du temps de séjour dans chacun d'eux. En milieu hydrographique, ce chimisme est principalement régi par l'équilibre des éléments :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{PH}$ ,  $\text{T}$ ,.....etc.

L'analyse des paramètres physico chimiques d'une eau de surface est primordiale pour évaluer sa qualité. Pour s'assurer de la fiabilité de nos résultats, il est important d'appliquer une stratégie d'échantillonnage et des méthodes d'analyses normées.

Une analyse physico chimique d'un cours d'eau se prépare donc avec la même rigueur dès la définition des objectifs de l'étude et se poursuit jusqu'à l'analyse des résultats selon différentes étapes.

➤ **Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau :**

- 1) Identifier du préleveur.
- 2) Date et heure de prélèvement.
- 3) Particulier ou autorité demandant l'analyse.
- 4) Motif de la demande d'analyse et usages de l'eau.
- 5) Ville ou établissement que l'eau alimente le type de traitement utilisé.
- 6) Nom du point d'eau et localisation précise.
- 7) Origine de l'eau (source, puits, barrage, etc.).Aspect particulier (couleur, etc.).
- 8) Température de l'eau à l'émergence et celle de l'atmosphère au moment du prélèvement. Conditions météorologiques du moment ( précipitations, vent, pression atmosphérique, etc.).
- 9) Débit approximatif à la minute ou à la seconde. Dans le cas d'une nappe souterraine, préciser la profondeur et l'épaisseur de cette nappe, la durée du pompage et le débit, le nombre de renouvellements de l'eau d'un piézomètre avant prélèvement.
- 10) Nature géologique des terrains traversés, aspect du milieu naturel.
- 11) Causes de souillures permanentes ou accidentelles auxquelles l'eau paraît exposée.
- 12) Enregistrer les remarques des usagers ou riverains concernant les variations d'aspect ou de débit ainsi que les modifications provoquées par les pluies ou la fonte des neiges.

➤ **Principales analyses à effectuer sur site :**

De nombreuses réactions (chimiques, physiques ou biologiques) peuvent se produire au sein d'un échantillon destiné à l'analyse, modifiant sensiblement les concentrations de certains éléments. Les principaux facteurs de variation sont associés :

- Aux variations de température et de pression, influençant en particulier la solubilité des gaz dissous dans l'eau,
- A la dissolution d'anhydride carbonique, qui pourra provoquer des modifications du pH et éventuellement de la conductivité .

- A des réactions de dégazage, affectant par exemple la teneur en oxygène dissous ou encore la concentration de composés hautement volatils (Hg, cyanures, trihalométhanes ...),
- A des réactions d'oxydation par l'oxygène dissous (par l'oxygène de l'air ou par celui présent dans l'échantillon), réactions qui peuvent affecter aussi bien des composés minéraux que des molécules organiques,
- A la dissolution d'oxygène, modifiant sa teneur dans le milieu avec éventuellement des incidences sur les perturbations par oxydation,
- A des réactions de précipitation, souvent influencés par des variations de pH, elles mêmes généralement associées à des variations de la teneur en anhydride carbonique dissous.

Nombre de ces réactions étant excessivement rapides, des modifications significatives peuvent se produire en quelques minutes. Une analyse *in situ* ou sur site s'impose donc pour certaines analyses (voir tableau « Principales analyses à effectuer sur le site »), l'analyse sur site devant être effectuée dans les 5 minutes qui suivent le prélèvement. [ 8 ]

### **I : l'échantillonnage :**

Afin de suivre l'évolution et de tenter de comprendre l'origine et le mécanisme du chimisme des eaux superficielles du barrage, 9 échantillons d'eau ont été prélevés et analysés :

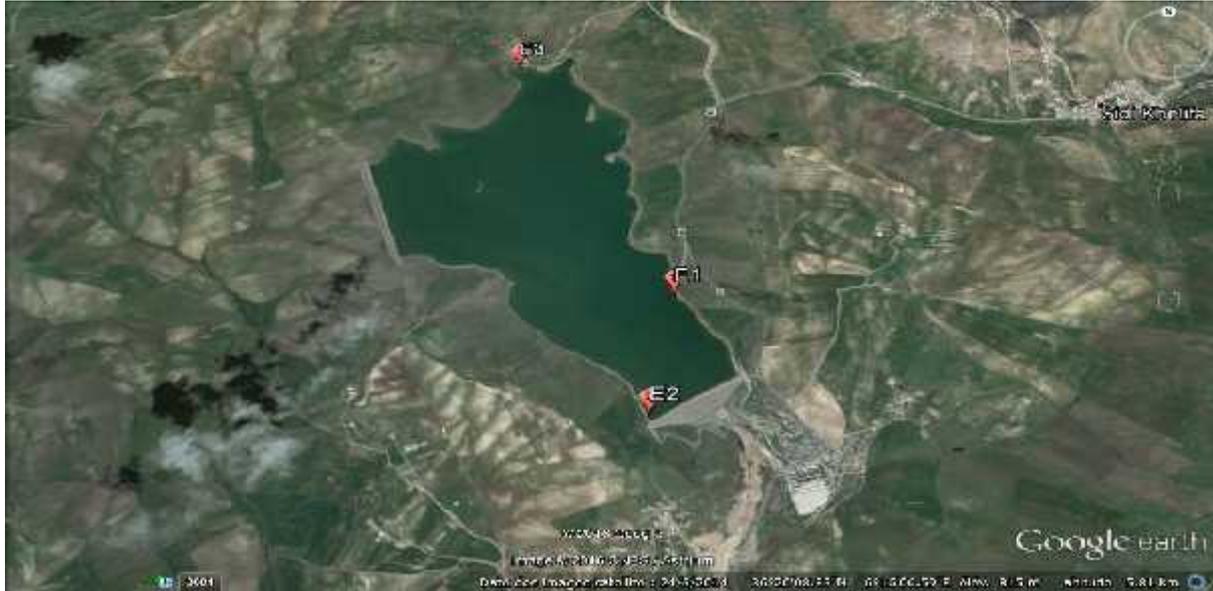
- Mesure des paramètres physico-chimiques : la conductivité, la température de l'eau, le PH.
- Les éléments majeurs : le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium, les chlorures, les bicarbonates, les sulfates, les nitrates et les nitrites.

La période d'observation s'étale en deux mois : avril et mai 2016.

Le choix des points de prélèvement sera guidé par la suspicion de pollution, l'intérêt écologique, ou encore un souci de représentativité des échantillons. [8]

Nous avons prélevé 3 échantillons dans des endroits différents :

- A l'amont de barrage (E1)
- Au niveau de la digue (E2)
- A l'affluent de barrage (E3)



**Photo IV-1 :** Les points de prélèvement des échantillons au niveau de barrage réservoir oued el athmania (Google Earth)

**Tableau IV-1 :** Les normes des paramètres physico-chimique [OMS]

Les paramètres	Concentration maximale admissible
PH	<6,5-8,5
Conductivité	<2800 $\mu\text{c}/\text{m}$
Dureté totale	<500 mg/L
Chlorure	<500 (mg/l)
Nitrate	<50 (mg/l)
Nitrite	<0,1 (mg/l)
Calcium	<200 (mg/l)
Magnésium	<150 (mg/l)
Sodium	<200 (mg/l)
Potassium	<15 (mg/l)
Sulfate	<400 (mg/l)
Phosphate	<0,5 (mg/l)

**II : Les analyses hebdomadaires :**

**II-1 : Principe et mode opératoire de mesure :**

**II-1-1 : Mesure de PH :**

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre l'acidité et la basicité sur une échelle de 0 à 14,7.

**Tableau IV-2 : Mode opératoire de mesure de PH**

Principe	Mode opératoire	Appareille
<p>Le PH mètre mesure la différence plongeant dans l'eau a analyser, cette différence est une fonction linéaire du PH liée à l'activité des ions H<sup>+</sup> au milieu.</p> <p>-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Allumer le PH mètre</li> <li>-Rincer l'électrode à l'eau distillée.</li> <li>-Mettre un agitateur avec une faible agitation.</li> <li>- Plonger les sondes (PH) dans le flacon de l'eau a analysé.</li> <li>-Relever les deux lectures (PH) dé que la lecture stabilise (1 min).</li> </ul>	 <p><b>Photo IV-2 : PH-mètre</b></p>

**II-1-2 : Mesure de la conductivité (CE) :**

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 des ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également à la fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente.

**Tableau IV-3 : Mode opératoire et principe de mesure de la conductivité**

Principe	Mode opératoire	Appareille
<p>La détermination de la conductivité électrique peut déduire la teneur en sels dissous.</p> <p>-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Allumer le conductimètre</li> <li>-Mettre en faible agitation</li> <li>- Plonger le sonde de conductimètre dans le b�cher qui contient l'eau a analysé.</li> <li>-Tapoter la sonde sur le fond de b�cher pour évacuer toutes bulles d'air.</li> <li>-Prendre la valeur après la stabilisation de lecture.</li> </ul>	 <p><b>Photo IV-3 : Conductimètre</b></p>

III : Les analyses volumétriques :

III-1 : Principe et mode opératoire de mesure :

III-1-1 : La dureté totale (TH), calcique et magnésienne :

Tableau IV-4 : Principe et mode opératoire de  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$

Principe	Mode opératoire de $Ca^{2+}$	Mode opératoire de $Mg^{2+}$
<p>Le <math>Ca^{++}</math> et <math>Mg^{++}</math> sont dosée a PH=10avec une solution coloré L'EDTA réagit avec les ions de calcium et magnésium libre, l'indicateur vire de la couleur rouge au violet puis en équivalence avec les ions combinée en violet bleu.</p>	<p>-Prendre 50 ml d'eau a analysé -Ajouter 2 ml de NAOH a 2 N -Ajouter Murexide -Titrer avec l'EDTA jusqu'au violet</p>  <p><b>Photo IV-4</b> : Variation de couleur de titrage</p>	<p>-Prendre 50 ml d'eau a analysé -Ajouter 2 ml de <math>NH_4OH</math> (67,5 g d'ammonium + 570 ml <math>NH_4OH</math> (25%) +5g EDTA(<math>C_{10}H_{12}N_2O_8Na_2Mg</math>) +1000ml Eau distillée) -Ajouter noir érichrom -Titrer avec l'EDTA jusqu'à virage bleu</p>

III-1-2 : Le chlorure ( $Cl^-$ ) :

Tableau IV-5 : Principe et mode opératoire de mesure de  $Cl^-$

Principe	Mode opératoire de $Cl^-$	Résultat
<p>Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former le chlorure argent insoluble, addition d'une petite quantité de ion de l'argent et formation de chromate argent brune rouge avec des ions chromate qui en ajouter comme indicateur.</p>	<p>- Prendre 100 ml d'eau a analyser -Ajouter 1 ml de <math>K_2CrO_4</math> a 10% (coloration jaunatre) -Titrer avec <math>AgNO_3</math> a 0,02.</p>	 <p><b>Photo IV-5</b> : Résultat de titrage <math>Cl^-</math> (jaune orange)</p>

III-1- 3 : Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique Complet :

Tableau IV-6 : Principe et mode opératoire de TA et TAC [HCO<sub>3</sub>]

Principe	Mode opératoire de TA	Mode opératoire de TAC
L'alcalinité correspond à la présence des hydrogencarbonates, carbonate et hydroxyde leur d déterminations basée sur la neutralisation d'un certaine volume d'eau par un acide minérale dilué, en présence d'un indicateur coloré.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prendre 100 ml d'eau a analyser</li> <li>-Ajouter 2 gouttes de la solution alcoolique de phénophtaléine(5g de phénophtaléine +500 ml alcoolique éthylique +500 ml d'eau distillé)</li> <li>-Développement de coloration rose (dans le cas contraire TA=0et PH&lt;8, 3)</li> <li>-Titrer avec l'acide a 0,02 N jusqu'au la décoloration complète de solution.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prendre l'échantillon traité précédemment</li> <li>-Ajouter 2 gouttes de méthyle orange à 0,5 %</li> <li>-Titrer avec le même acide jusqu'au virage de jaune au jaune orangé</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><b>Photo IV-6</b> : Résultat de titrage de TAC</p>

III-1- 4 : Matière organique(MO) :

Tableau IV-07 : Principe et mode opératoire de mesure de MO

Principe	Mode opératoire des MO	Matériels
- On oxyde par un excès de permanganate de potassium ; en milieu acide et a ébullition (10min) .des matières oxydables contenues dans la prise d'essai de l'échantillon. on réduit l'excès de permanganate par une solution d'oxalate de sodium en excès connu. (on titre en retourne l'excès d'oxalate par le permanganate).	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prendre 100 ml d'eau a analyser</li> <li>-Ajouter 5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluer et porter a l'ébullition pendant 1 min .</li> <li>-Ajouter 15 ml de KMnO<sub>4</sub> A 0,01N avec 10 mn d'ébullition régulière et douce.</li> <li>-Ajouter 15ml d'acid oxalique a 0,01N</li> <li>-Titrer au chaud avec KMnO<sub>4</sub> a 0,01 jusqu'à coloration rose claire (qui persiste 15-20 second) ;</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>MO(mgO<sub>2</sub>)=(Vech-V0)×F×0,8.....(IV-1)</b></p> <p>Avec :</p> <p style="padding-left: 40px;">Véch : Volume de l'échantillon a 0,01 N</p> <p style="padding-left: 40px;">V0 : Volume de KMnO<sub>4</sub> essai a blanc</p>	<p><b>Matériel :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Une burette graduée en degré française</li> <li>-Un erlenmeyer (250ml)</li> <li>-Une fiole jaugée de 100ml</li> <li>- Une pipette de 5ml</li> <li>-Une pipette de 20ml</li> <li>-Agitateur magnétique avec plaque chauffante.</li> </ul>

• Les réactifs utilisés :

**a : Solution d'Acide oxalique**

- |   |  |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">a 0,1N</p> <p>➤ C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O .....6, 3033 g</p> <p>➤ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(d=1,84).....50 ml</p> <p>➤ Eau distillé .....1000ml</p> | <p style="text-align: center;">a 0,01N</p> <p>- H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> a 0,1N .....100 ml</p> <p>- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(d=1,84)</p> <p>-eau distillé .....1000ml</p> |
|---|--|

**b : Solution d'acide de permanganate de potassium (d=1,27)**

- |  |  |
|--|--|
| <p style="text-align: center;">a 0,1 N</p> <p>-KMnO<sub>4</sub>.....3,16 g</p> <p>-Eau distillée ...1000ml</p> | <p style="text-align: center;">a 0,01 N</p> <p>-solution KMnO<sub>4</sub>...100ml</p> <p>--Eau distillée ...1000ml</p> |
|--|--|

**C : Solution d'acide sulfurique dilué (d=1,27)**

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (d=1,84).....1 volume
- Eau distillé .....3 volume

**IV : Analyses photométriques :**

**IV-1 : Principe et mode opératoire de mesure :**

**Tableau IV-08 :** Principe et mode opératoire de mesure de (Na<sup>+</sup> ; K<sup>+</sup>)

Principe	Mode opératoire	Appareil
<p>-En présence de salicylate de sodium, le nitrate donnent paronitrosolynate de sodium coloré en jaune et susceptible en dosage colorimétrique.</p>	<p>-Prendre 10ml de l'échantillon a analysé</p> <p>-Ajouter de 2-3 goutte de NAOH a 30%</p> <p>-Ajouter 1 ml de salicylate de sodium</p> <p>-Evaporer au sec au bain marie ou a l'étuve 75-88°c, laissé refroidir,</p> <p>- Reprendre les résultats avec 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, laisser reposer 2 min.</p> <p>-Ajouter 15ml d'eau distillé</p> <p>-Ajouter 15mm de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectromètre au 415 Nm.</p>	<div style="text-align: center;">  <p><b>Photo IV- 07 :</b> L'étuve d'évaporation</p> </div>

**V : Analyses spectrométriques :**

**V-1 : Principe générale :**

Quand un rayonnement d'une longueur d'onde donnée traversé un milieu, son intensité diminue en fonction de la densité des éléments absorbant et de l'épaisseur d'un milieu.

Cette propriété est utilisé pour déterminer la concentration des éléments chimiques absorbant à une longueur d'onde déterminé (c'est l'interaction entre les photons de la source lumineuse et les ions ou molécules de l'échantillon qui provoque l'absorbtion lumineuse.



Photo IV-8 : Spectromètre

V-2 : Principe et mode opératoire de mesure :

V-2-1 : Nitrate et nitrite :

Tableau IV-09 ; Principe et mode opératoire de mesure de  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$

Nitrite		Nitrate	
Principe	Mode opératoires	Principe	Mode opératoires
<p>Les nitrites réagissent avec le sulfanilamide (un composé diazoïque) qui après copulation avec le N1 dichorée donne naissance a une coloration rose.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etalonner le spectro</li> <li>-prendre 50ml d'eau a analysé</li> <li>- Ajouter 1 ml de réactif mixte (40 g sulfanilamide+100ml acide phosphorique+2 g N1+1000ml d'eau distillée)</li> <li>-Attend 10 min et effectuer la lecture a 543 nm.</li> </ul>	<p>En présence de salicylate de sodium les nitrates donnent des paranitrososulfate de sodium colorée en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Etalonner le spectro</li> <li>-Prendre 2 ml d'eau a analysé</li> <li>-Ajouter 2-3 gouttes de NAOH (30%)</li> <li>-Ajouter 1ml de salicylate de sodium a 0.5%</li> <li>-Evaporer a sec au bain marie ou étuve (75-88°C)</li> <li>-Laisser refroidir</li> <li>-Reprendre le résidu avec 2ml de <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math> et laisser reposer 2min</li> <li>-Ajouter 15ml d'eau distillée</li> <li>-Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium (400g NAOH +60 g de tartrate de Na, k+1000ml eau distillée.</li> <li>-Reposer au spectro au 415 nm.</li> </ul>
	<p>Photo IV-9 : Résultats d'analyses de nitrate</p>		

**V-1- 2 : Phosphate :**

**Tableau IV-10 :** Principe et mode opératoire de mesure de phosphate

Principe	Mode opératoire	Appareil
<p>- On milieu acide les ortho phosphates réagissent avec les ions de molybdate d'ammonium et tartrate double de antimoine et de potassium pour former un complexe d'antimonyl-phosphate puis sa réduction par l'acide ascorbiques ;on un complexe de molybdène bleu qui présente deux valeurs maximale d'absorption ,l'une d'une valeurs environ 700 nm et l'autre la plus importante a 880 nm.</p>	<p>- Etalonner le spectro                      -Prendre 40ml d'eau a analysé                      -Ajouter 1 ml d'acide Ascorbique a 10%                      -Ajouter 2ml de réactif mixte (Heptamolybdate d'ammonium (13g)                      Eau distillé (100ml)                      Tartrate d'antimoine (0.35g)                      Eau distillé (100ml)                      Acide sulfurique pur (150 ml)                      Eau distillé (150ml)                      -Attendre 10 min le développement de couleur bleu                      -Effectuer la lecture a une longueur d'onde de 880 nm.</p>	 <p><b>Photo IV-10 :</b> Résultats de titrage de phosphate</p>

**V-1-3 : Sulfates :**

**Tableau IV-11 :** Principe et mode opératoire de mesure de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

Principe	Mode opératoire
<p>Les ions sulfates sont précipités A l'état de sulfates de baryum en présence de Ba Cl<sub>2</sub> selon la réaction suivante :  <math>Ba Cl_2 + SO_4^{2-} = Ba SO_4 + 2 Cl^-</math></p>	<p>- Etalonner le spectro                      -Prendre 20 ml d'eu a analyser puis compléter a 100 ml d'eau distillé                      -Ajouter 5 ml de la solution stabilisante : (60 ml HCl+200 ml Ethanol+100 ml Glycérol+ qsp 100 ml eau distillé)                      -Ajouter 2ml de chlorure de baryum :( 150g Ba Cl<sub>2</sub>+5 ml HCl+qsp .100 ml eau distillé)                      -Rejeter énergiquement pendant 1 min.                      -Passer au spectrophotomètre a une onde 420 nm.</p>

**Remarque :** tous les valeurs des tableaux suivantes sont en mg/l

Tableau IV- 12 : Tableau récapitulatif les résultats des analyses (avril et mai).[2016]

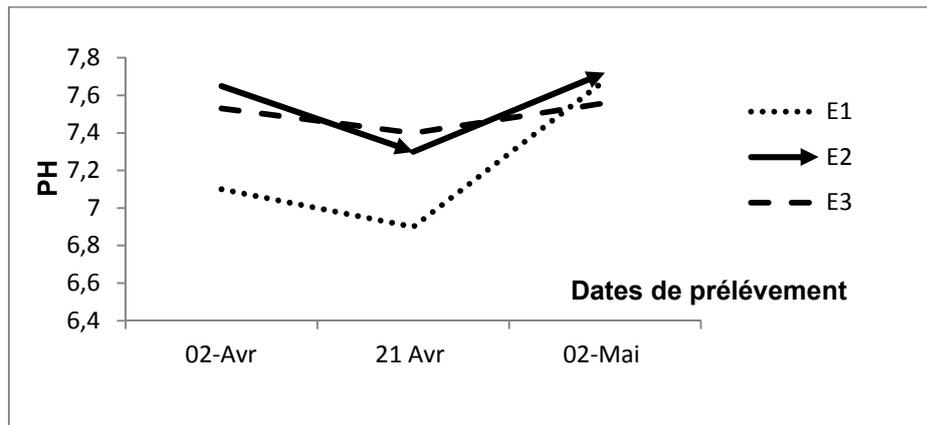
		Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sup>3-</sup> (mg/l)	NO <sup>2-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	CE (µc/cm)	PH
E <sub>1</sub>	02/04	94.93	55.76	109	7.5	1.67	0.211	148.76	190	256.87	0.22	1180.8	7.1
	21/04	97	60.48	111.9	8.54	1.2	0.22	153.9	224.3	267	0.251	1114.4	6.9
	02/05	94.37	47.14	110	5	1.99	0.177	142.52	183	254.08	0.235	1207	7.68
E <sub>2</sub>	02/04	113	46	135.2	8	1.76	0.189	138.5	280.5	190.9	0.184	1111	7.65
	21/04	119	47.7	150.3	10.33	0.4	0.2	160.4	352.4	206	0.2	1010.2	7.3
	02 /05	87	48.6	120	5	2.15	0.037	89.34	168.36	179.19	0.120	1203	7.72
E <sub>3</sub>	02/04	138	41.8	74	8.66	1.1	0.15	123.6	198.2	230.03	0.1	1255.7	7.53
	21/04	112	42.52	79.3	10.54	0.2	0.2	170	277	235	0.12	1307.4	7.4
	02/05	146	38.8	70	8	1.68	0.119	141.1	254.98	221.45	0.093	1099	7.56

Tableau IV-13 : Statistiques des résultats des analyses des points sélectionnés

		Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sup>3-</sup> (mg/l)	NO <sup>2-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	CE (µc/cm)	PH
E <sub>1</sub>	Max	97	60.48	119	8.54	1.99	0.22	153.9	224.3	267	0.251	1207	7.68
	Min	94.37	47.14	109	5	1.2	0.177	142.52	183	254.08	0.22	1114.4	6.9
	Moy	95.43	15.71	110.3	7.01	1.62	0.2	148.39	199.1	259.32	0.28	1167.4	7.23
	Ecar	1.38	4.35	1.47	1.82	0.4	0.02	5.7	22.1	6.8	0.01	47.73	0.4
E <sub>2</sub>	Max	119	48.6	150.3	10.33	2.15	0.2	160.4	352.4	206	0.2	1203	7.72
	Min	87	46	120	5	0.4	0.037	89.34	168.36	179.19	0.12	1010.2	7.3
	Moy	106.33	16.2	135.17	7.78	1.44	0.14	129.41	267.1	192.03	0.17	1108.1	7.23
	Ecar	17.01	3.32	15.15	2.67	0.92	0.09	36.39	92.75	13.44	0.04	96.43	0.22
E <sub>3</sub>	Max	146	42.52	79.3	10.54	1.68	0.2	170	277	235	0.12	1307	7.56
	Min	112	38.8	70	8	0.2	0.119	123.6	254.98	221.45	0.093	1099	7.4
	Moy	132	12.93	74.43	9.07	0.99	0.16	146.8	243.39	219.83	0.1	1210.7	7.5
	Ecar	17.78	3.1	4.66	1.32	0.74	0.04	32.81	40.66	16.05	0.01	105	0.08

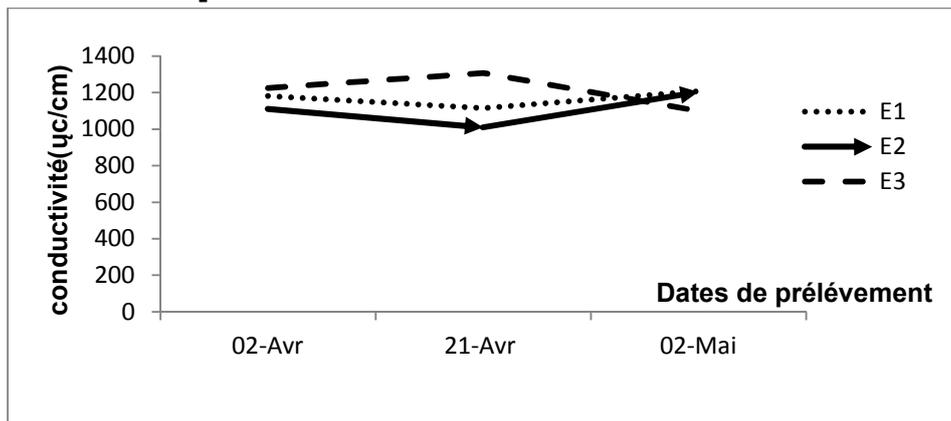
Min : Minimum, Max : Maximum, Moy : Moyenne, Ecar : Ecart type

➤ **Interprétation des résultats :**



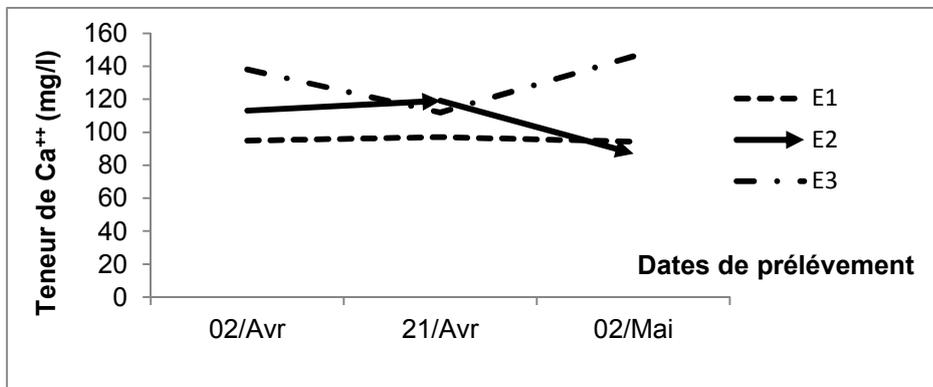
**Figure IV-1 :** Evolution tempore de PH

Le tableau montre que les valeurs des PH concernant les trois points sont comprises entre [6,9-7,72], ce qu'indique que le PH est conforme à la norme [le tableau IV-1].



**Figure IV-2 :** Evolution tempore de la conductivité

Suit au [Figure IV-2] en remarque que les valeurs maximales pour tous les points d'eau est inférieure à la norme admissible (2800µs/cm).



**Figure IV-3 :** Evolution tempore de teneur de Ca<sup>++</sup>

➤ **Calcium (Ca<sup>++</sup>) :**

la détermination de calcium en (mg /l) donné par la formule suivante :

$$Ca^{++} \text{ (mg/l)} = [(V1 \times C_{EDTA} \times M \text{ Ca}^{++} \text{ P.E}) \times 1000]$$

Avec : V1:Volume de EDTA nécessaire pour une concentration donnée

C : Concentration molaire d'EDTA

M Ca<sup>++</sup> : Masse molaire de calcium en g.

P .E : Prise d'essai (volume d'échantillon nécessaire pour ce dosage).

$$Ca^{++} \text{ (mg /l)} = V1 \times 8,016$$

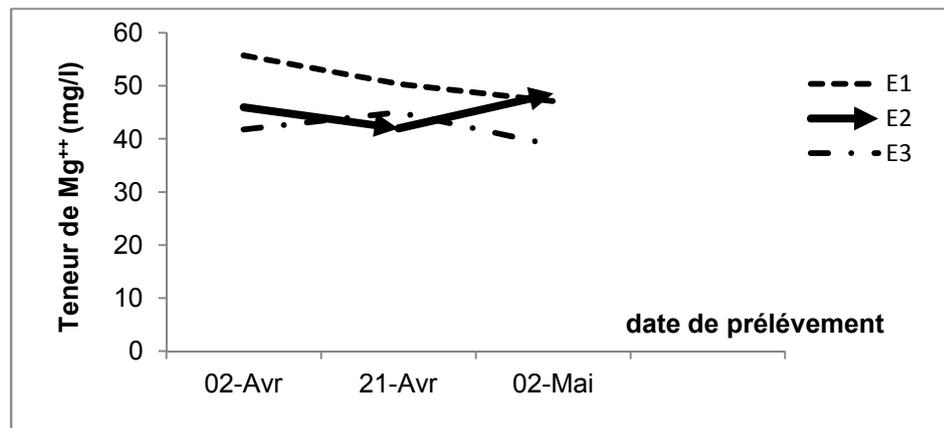


Figure IV-4 : Evolution temporaire de teneur de Mg<sup>++</sup>

➤ **Magnésium (Mg<sup>++</sup>) :**

1 / la détermination de magnésium en (mg /l) est donnée par la formule :

$$Mg^{++} \text{ (mg/l)} = [(V1 \times C_{EDTA} \times M \text{ Mg}^{++}) / P.E] \times 1000$$

Avec : V2 : Volume totale d'EDTA

M Mg<sup>++</sup> : Masse molaire de magnésium en g.

$$\text{Donc : } Mg^{++} \text{ (mg /l)} = (V2 - V1) \times 4,86$$

2 / la détermination de CaCO<sub>3</sub> en mg/l par la formule suivante :

$$CaCO_3 \text{ (mg/l)} = [(V2 \times C_{EDTA} \times M \text{ CaCO}_3) / P.E] \times 1000$$

Avec : M CaCO<sub>3</sub> : Masse molaire de CaCO<sub>3</sub> en g.

$$\text{Donc : } CaCO_3 \text{ en g} = V2 \times 20$$

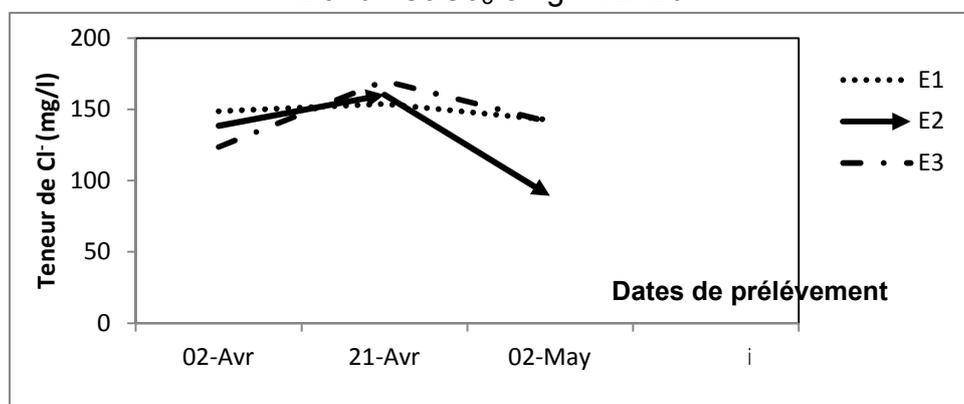


Figure IV-5 : Evolution temporaire de teneur de Cl<sup>-</sup>

➤ **Chlorure (Cl<sup>-</sup>) :**

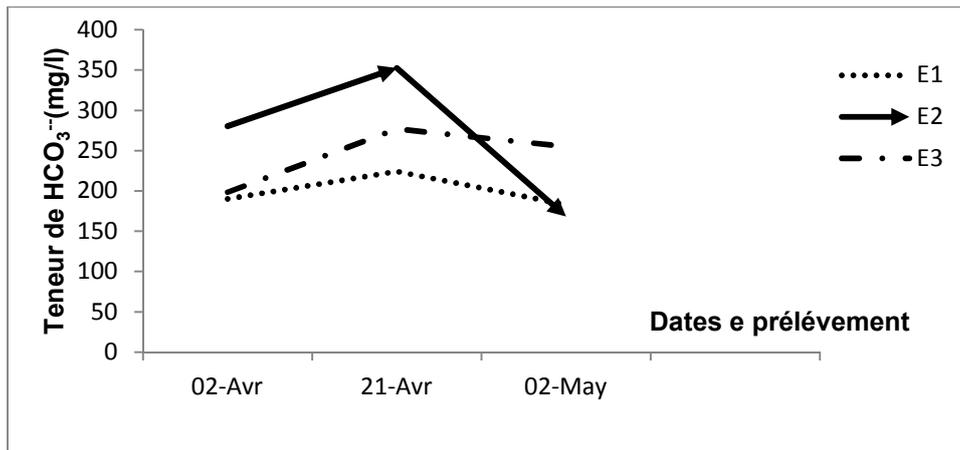
La concentration en chlorure est exprimé en mg/l est d définit par la formule suivante :

$$\text{Cl}^- (\text{mg/l}) = [(\text{VE}-\text{V0}) \times 0,02 \times 25453] / 100$$

D'où :

VE : Le nombre de mls de la solution AgNO<sub>3</sub> utilisé pour obtenir le virage de l'échantillon

V0 : Le nombre de mls de la solution AgNO<sub>3</sub> utiliser pour obtenir le virage a blanc.



**Figure IV-6 :** Evolution temporaire de teneur de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

➤ **Titre Alcalimétrique (TA) :**

- ✓ V / 5 exprime le titre alcali métrique en [me<sup>-</sup>/l].
- ✓ (V'-0,5) exprime le titre alcali métrique exprime en mg de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> par litre.
- ✓ V exprime le titre alcalimétrique exprime en milligramme de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> par litre

d' où : v : Exprime le nombre de millilitres d'acide utiliser pour obtenir le virage

➤ **Titre Alcalimétrique Complet :**

- ✓ (V'-0,5) / 5 : exprime le titre alcali métrique complet en mg de HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup> en me-/l.
- ✓ V'-0,5 exprime le titre alcali métrique en complet en degré français.
- ✓ V : Exprime le titre alcali métrique en degré française.
- ✓ D'où : V' : Le nombre de millilitres d'acide utiliser depuis le début de dosage

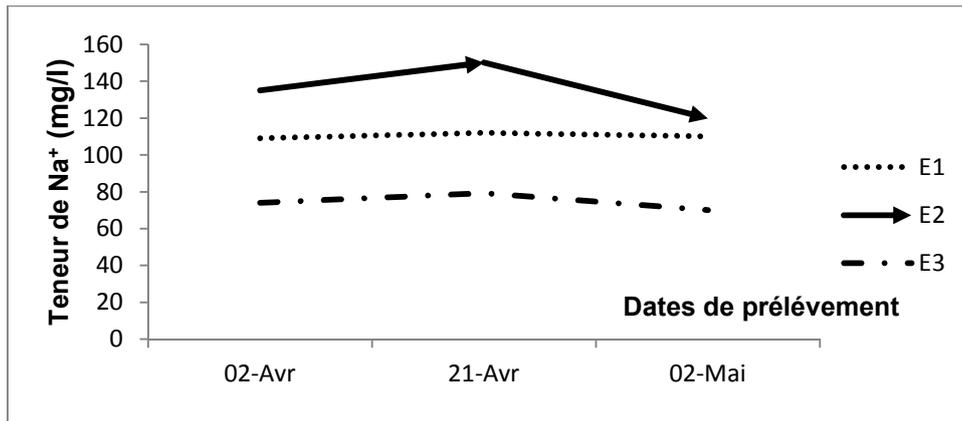


Figure IV-7 : Evolution temporaire de teneur de Na<sup>+</sup>

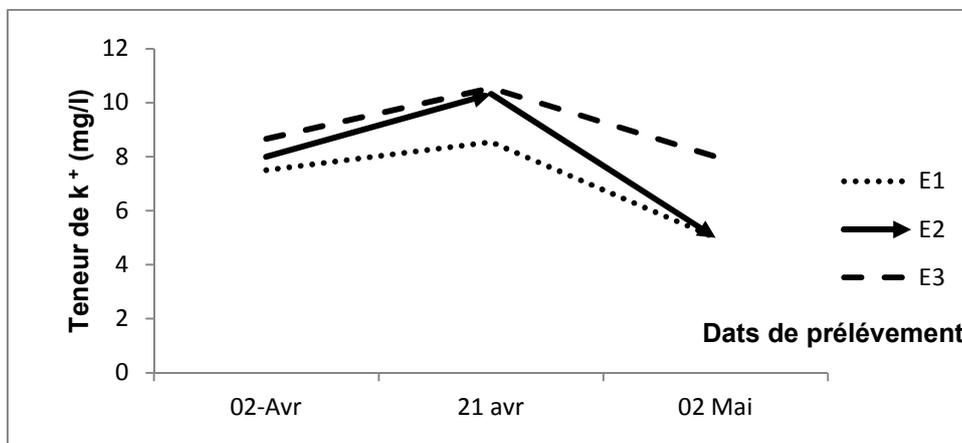


Figure IV-8 : Evolution temporaire de teneur de K<sup>+</sup>

A partir des [Figure IV-7] et [Figure IV-8] en remarque que toutes les valeurs de potassium (K<sup>+</sup>) et de sodium (Na<sup>+</sup>) sont conforme à la norme elles sont compris entre (120-150 mg/l) pour le sodium et entre (6-10 mg/l) pour le potassium. Les résultats sont donnés directement en mg/l.

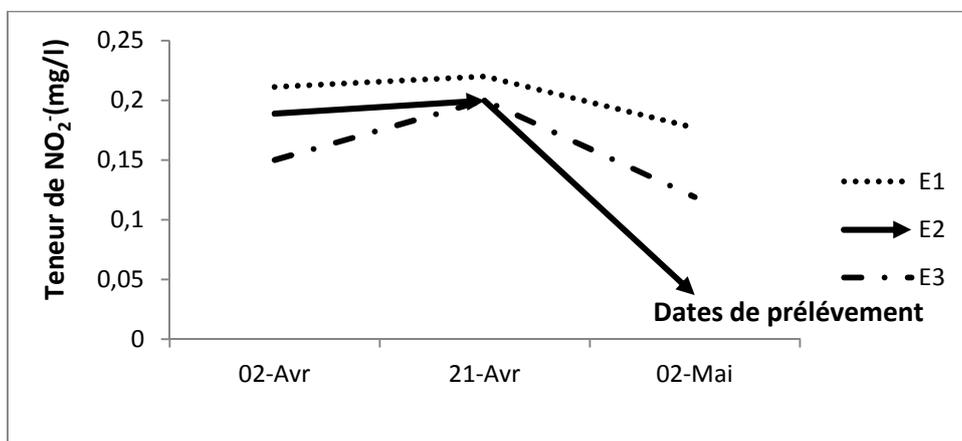


Figure IV-9 : Evolution temporaire de teneur de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

➤ Gamme d'étalonnage de nitrate :

Tableau IV-14 : Gamme d'étalonnage de nitrate

<b>Etalons a (5 mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l)</b>	0	1	2	5	10
<b>Eau distillée (ml)</b>	10	9	8	5	0
<b>Solution de salicylate de Na</b>	1	1	1	1	1
<b>Correspondant en mg/l de nitrate</b>	0	0.5	1	2.5	5

Les résultats sont donnés directement en mg/l.

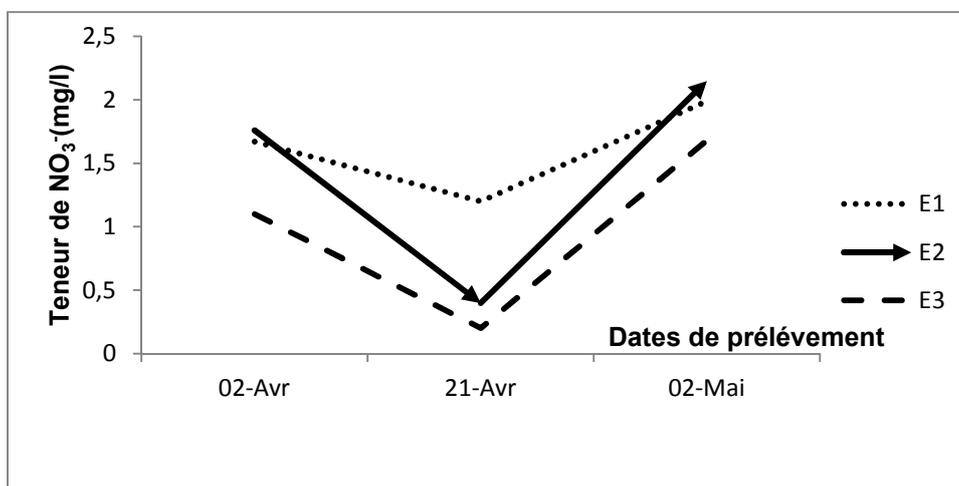


Figure IV-10 : Evolution temporaire de teneur de nitrite

Tableau IV-15 : Gamme d'étalonnage de nitrite

<b>Etalons à (1 mg de NO<sub>2</sub>/l)</b>	0	1	2.5	5	7.5	10
<b>Eau distillée (ml)</b>	50	49	47.5	45	42.5	40
<b>Réactif mixte( ml )</b>	1	1	1	1	1	1
Attendre 10 min						

les résultats est donnée directement en mg/l de longueur d'onde 415 nm.

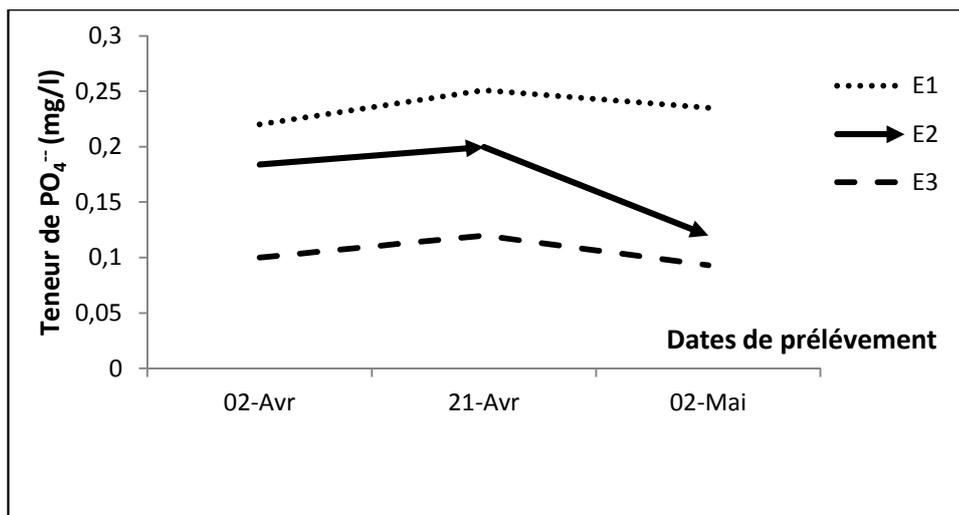


Figure IV-11 : Evolution temporaire de teneur de phosphate

➤ Gamme d'étalonnage de phosphate :

Tableau IV-16 : gamme d'étalonnage de phosphate

<b>Etalons à 2 mg P/L</b>	0	0.3 ml	0.6	1.2	2.4	4.8....
<b>Eau distiller (40 ml)</b>	40	40	40	40	40	40
<b>[C] P</b>	0.0	0.015	0.03	0.06	0.120	0.240
<b>[C ] en PO<sup>3-</sup></b>	0.0	0.0459	0.0918	0.1836	0.3672	0.7340
<b>Acid ascrobique (ml)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Réactifs mélange (ml)</b>	2	2	2	2	2	2

Les résultats sont donnée directement en [mg /l]

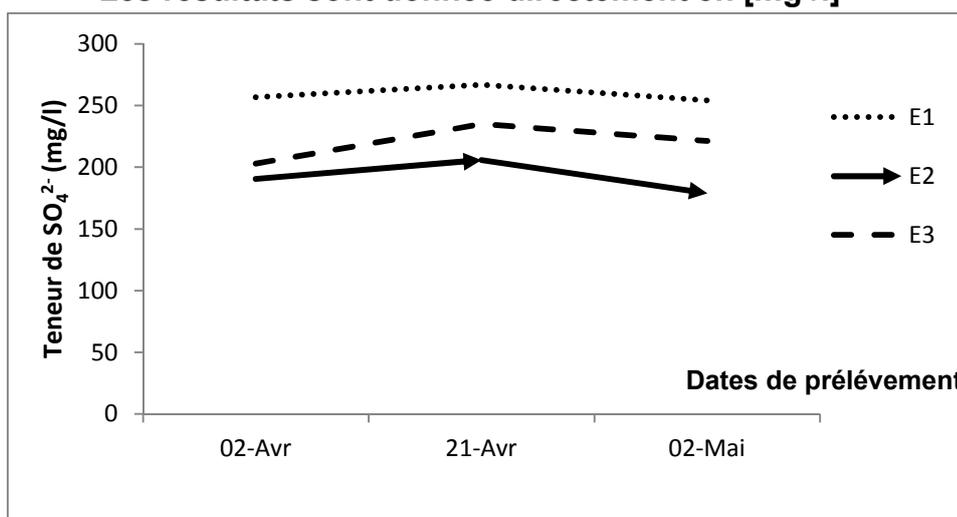


Figure IV-12 : Evolution temporaire de teneur de sulfate

Tableau IV-17 : Gamma d'étalonnage de sulfate

Etalons a 1 g/l (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7
Eau distillée (40 ml)	100	100	100	100	100	100	100	100
Stabilisante (ml)	50	50	50	50	50	50	50	50
Chlorure de baryum (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2
Agitation 1 minute								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	10	20	30	40	50	60	70

**VI : Rapports caractéristiques:**

Remarque : [tous les valeurs des paramètres dont les figures sont exprimer en me<sup>-</sup> /l]

**VI-1 : Les facies chimiques :**

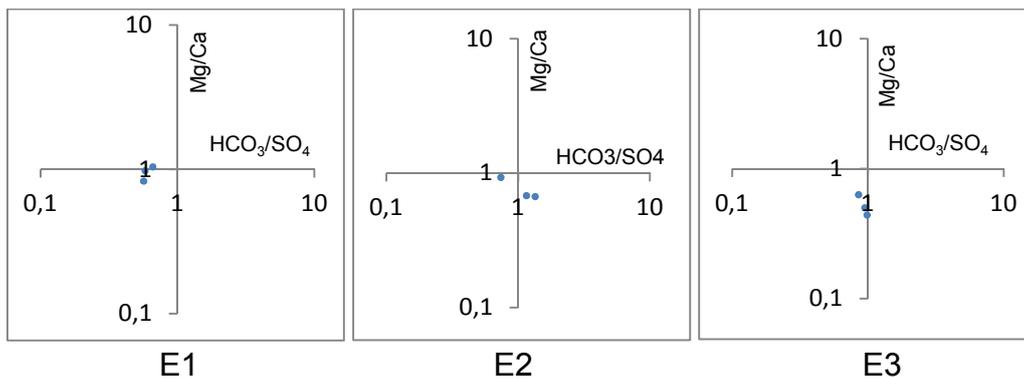


Figure IV-13 : Les facies chimiques

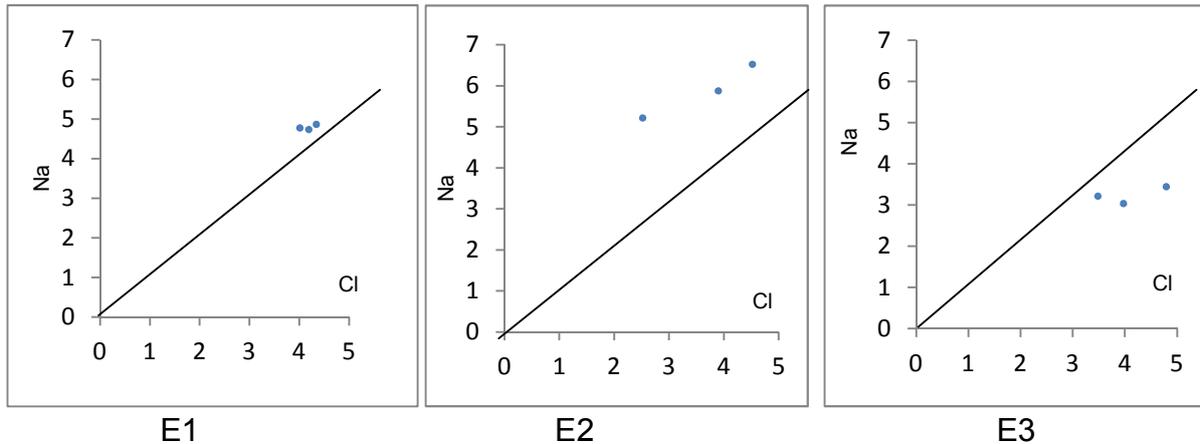
Pour déterminer les facies, en a établi un diagramme bi logarithmique sur laquelle en a reporté en abscisses le rapport de (HCO<sub>3</sub> /SO<sub>4</sub>) et en ordonnée le rapport (Mg/Ca).

L'examen de ces trois figures montre que : les eaux de point E1 présentent un facies sulfaté magnésien et calcique due à la pluie par l'effet d'oxydation de l'anhydrite ou par le lessivage des argiles des terrains argileuses et marneuses. Alors que les eaux de point E2 montrent un facies sulfates et bicarbonaté calcique.

Les facies sont on liaisons directe avec la géologie, ou elles affleurent les formations carbonatées et sulfatées (calcaire et gypse), les eaux de point E3 présentent un facies sulfaté magnésien par l'effet de la dissolution des gypse..

**VI- 2 : Origine de sodium Na :**

➤ **Rapport Na/cl :**



**Figure IV-14 : Rapport Na/Cl**

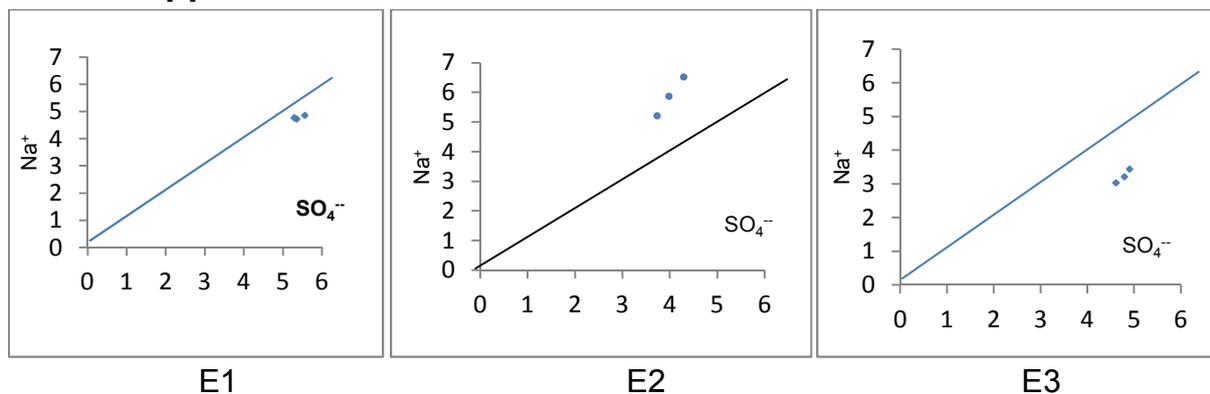
On détermine l'origine des éléments chimiques à partir des corrélations qui existent entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

Pour avoir une idée sur les éléments dominant ; nous avons fait une représentation graphique sur une échelle arithmétique ou au abscisse projeter les teneurs des chlorures et en ordonnée les teneurs des sodium.

L'examen des trois figures montre que les échantillons E1 et E2 se trouvent au dessus de la droite d'une pente 1, ce ci traduit la présence d'une seul origine, des ions sodiques ( $\text{Na}^+$ ) qui a fait accroître la concentration de sodium par rapport a celle de chlorures, cet apport pouvait provenir de l'altération des silicates sodiques (argile).

Par contre l'échantillon 3 montre que la quasi-totalité des points se trouvent au dessous de la droite d'une pente 1, ce qui traduit la dominance de chlorure par rapport au sodium qui pourrait provenir par le lessivage des formations chlorurée.

**VI- 3 : Rapport Na/so4 :**



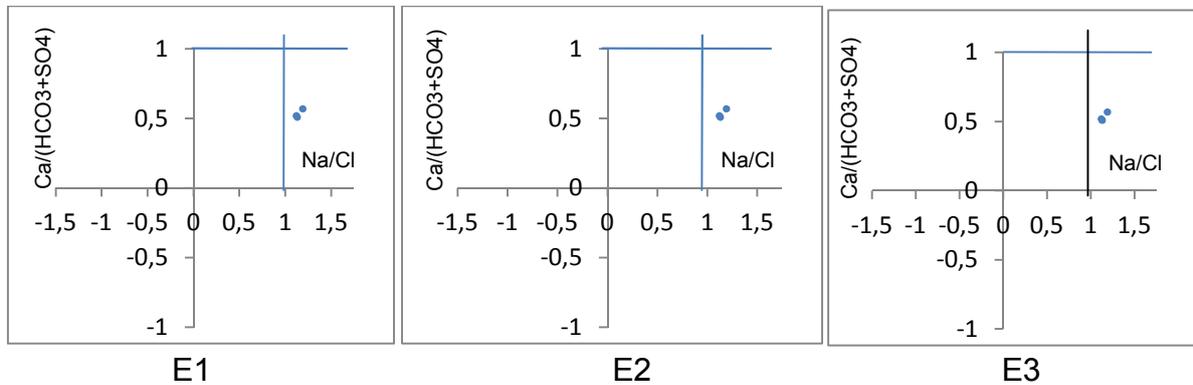
**Figure IV-15 : Relation Na/ $\text{SO}_4$**

L'examen de ces diagramme montre que :

les échantillons E1 et E3 se trouvent au dessous de la droite de pente 1, se ci ne peut un excès des sulfates par rapport au sodium ce ci montre s'expliquent par une

dissolution de gypse, Par contre (E2) les points sont figurées au dessus de pente 1, elles se peut s'expliquent par la dissolution des formations salifère plus importante que celle de gypse.

**VI- 4 : Echange de base :**

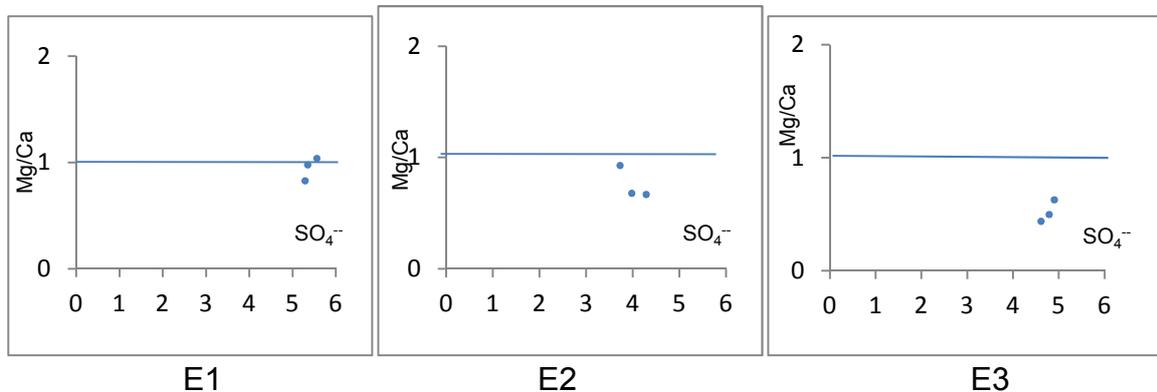


**Figure IV-16 : Rapport d'échange de base**

➤ **Interprétation des résultats :**

L'examen de ces diagramme montre que : Pour les trois échantillons on a l'excès de Na qui est explique par la domination des ions de (Na<sup>+</sup>),

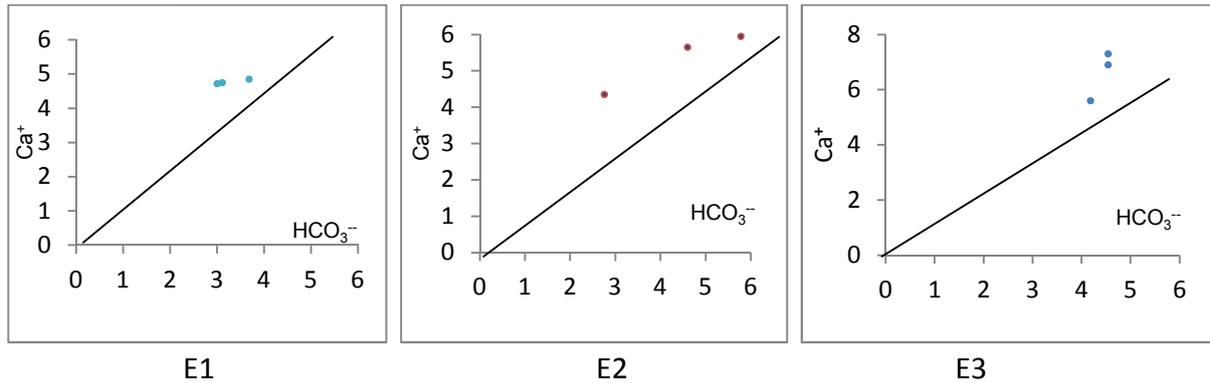
**VI- 5 : Origine de Mg :**



**Figure IV-17 : Origine de Mg<sup>2+</sup>**

La projection des déferentes points sur le diagramme par les trois points montre que, pour (E2) et (E3) présentent un rapport de Mg/Ca inférieur a 1, ce qui nous permet de dire que le calcium emport sur le magnésium et qui sa ne peut être due qu'a la dissolution de gypse CaSO<sub>4</sub>(2H<sub>2</sub>O), par contre au niveau de (E1),on a plus le cas précédent ,une dominance de Mg par rapport au Ca qui est explique la dissolution des évaporites.

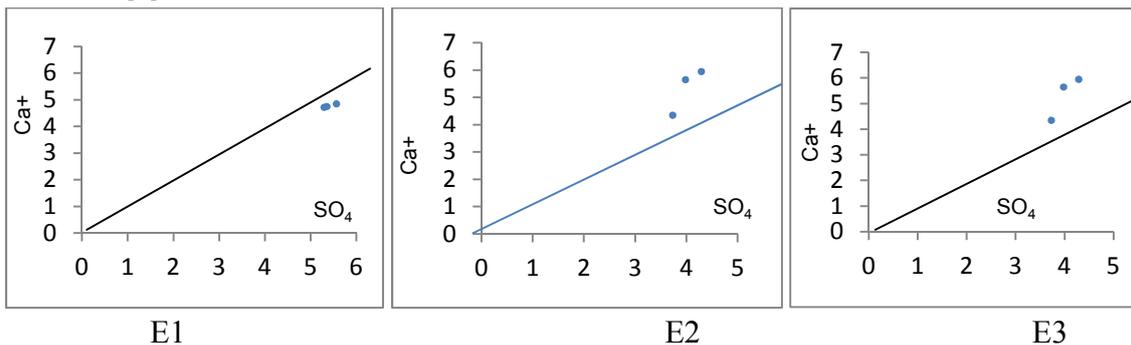
**VI- 6 : Origine de calcium :**



**Figure IV-18 : Rapport Ca/HCO<sub>3</sub>**

La représentation permet de voir que le calcium a une seule d'origine pour toutes les échantillons pour des teneurs de HCO<sub>3</sub><6 mé/l donc l'origine de calcium est carbonatée.

**VI- 7 : Rapport de Ca/SO<sub>4</sub> :**

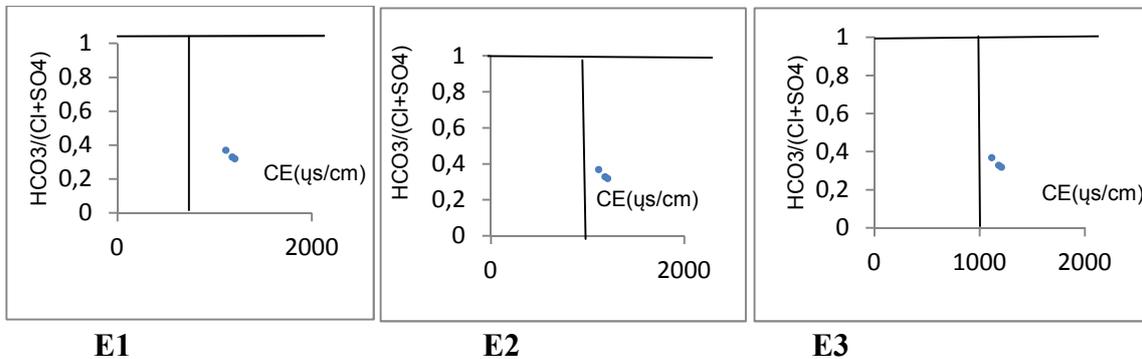


**Figure IV-19 : Rapport Ca/SO<sub>4</sub>**

l'examen de ce couple relative a l'évolution de calcium en fonction de sulfate, montre que les échantillons E2 et E3 présentent un excès de Ca ce qui confirme l'origine carbonaté calcaire par contre E1 présente un excès de SO<sub>4</sub> ce qui indique un origine évaporitique.

**VI- 8 : Origine de salinité :**

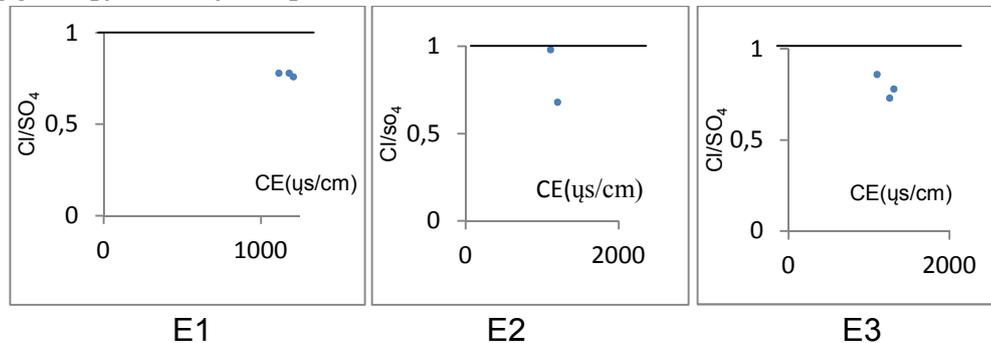
➤ **Rapport (HCO<sub>3</sub>/Cl+SO<sub>4</sub>) / CE:**



**Figure IV-20 : Rapport (HCO<sub>3</sub>/Cl+SO<sub>4</sub>)/CE**

Pour les trois échantillons, le rapport de la teneur de  $\text{HCO}_3$  et celle de  $\text{Cl} + \text{SO}_4$  montre un pôle évaporitique ou les ions de  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dominant au celle de  $\text{HCO}_3$  donc la conductivité est liée en grande part aux éléments évaporitique. [Figure IV-20].

➤ **Rapport [(Cl/SO4) /CE] :**



**Figure IV-21 : Rapport [(Cl/SO4) /CE]**

Les trois figures montrent que la conductivité est liée avec les sulfates qui explique l'origine sulfurique (gypse) [ Figure IV-21] .

## VII : Résultats et interprétation des analyses hydrochimique :

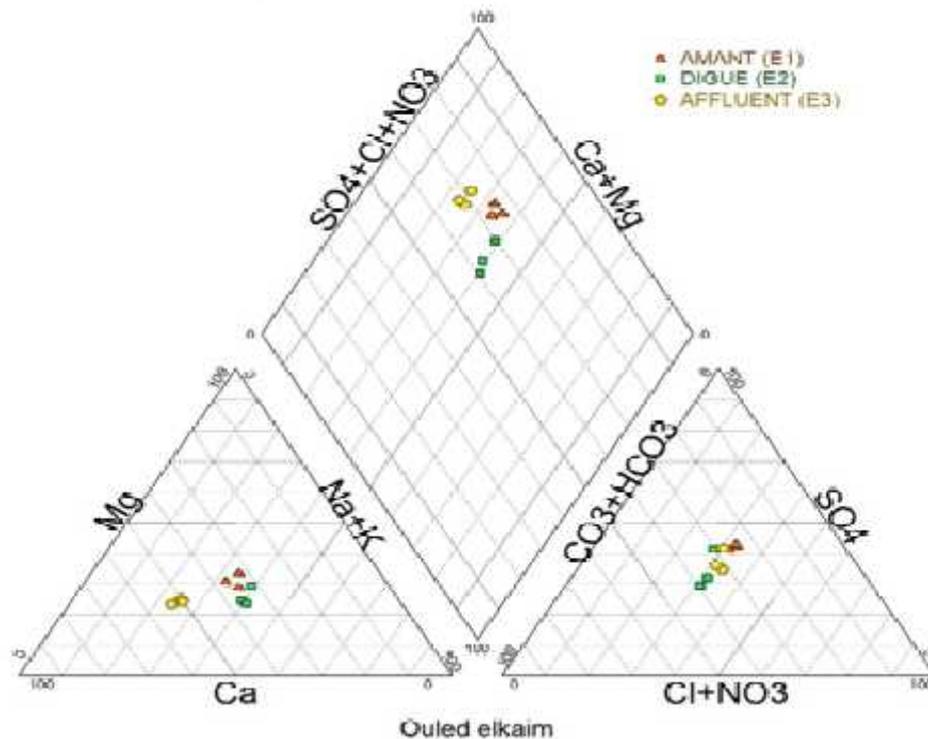
Dans notre étude, 09 échantillons en 03 points dans le barrage réservoir d'oued el athmania. Les résultats d'analyse des échantillons prélevés en avril et mai 2016. Nous ont permis d'établir les différents diagrammes; à fin de matérialiser l'évolution spatial de l'hydrochimie.

### VII-1 : Les diagrammes :

les diagrammes qu'on va présenter, vont permettre une meilleure identification des faciès et les aspects qualitatifs, des eaux superficielles, Dans ce but, nous avons entrepris dans notre cas et choisi des démarches de représentation, tels que celui de Shoeller-Berkaloff et de Piper, afin de mieux cerner les particularités des eaux étudiées.

#### a : Le Diagramme de Piper :

A partir du diagramme de piper [Figure IV-22] nous remarquons que le faciès chimique dominant est le Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne dans les trois compagnes des hautes eaux en avril et mai 2016. Les cations magnésiens et calciques, marque la totalité des points représentés sur le triangle des cations, traduisant ainsi l'origine de ces eaux. Le calcium provient des eaux des bordures, alors que le magnésium tire son origine des argiles qui s'intercalent au niveau de plusieurs cotes dans la stratification des couches qui composent le lit de réservoir.

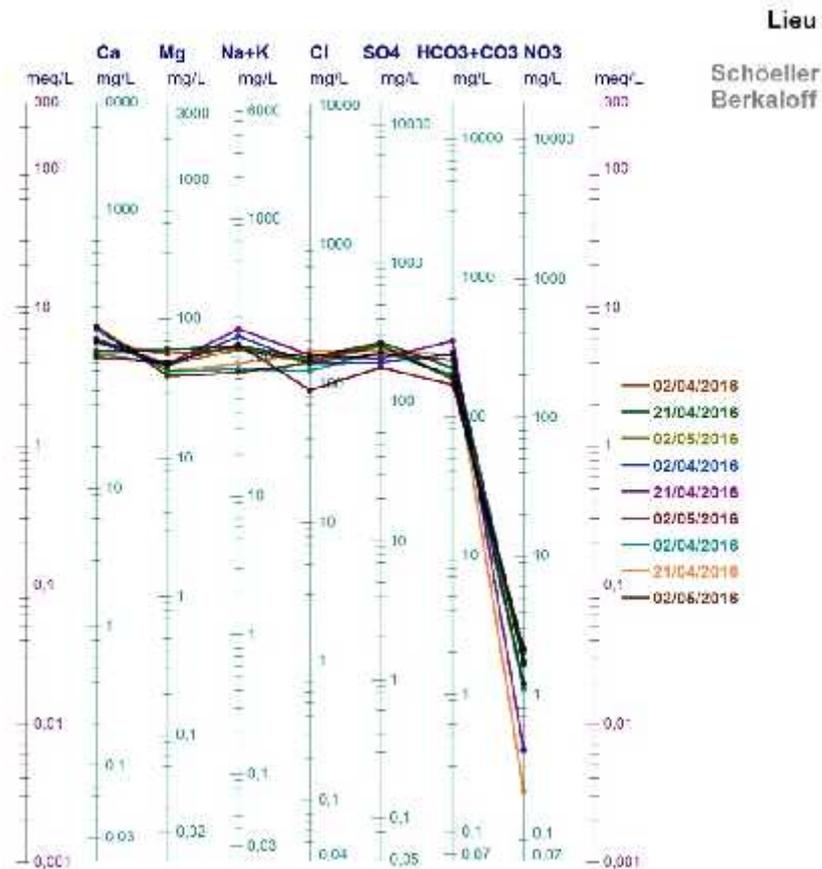


**Figure IV-22** : Diagramme de Piper des eaux superficielles du barrage réservoir oued el athmania (avril et mai 2016)

Le diagramme met en évidence l'incite, de la géologie sur la qualité des eaux. Les bicarbonates tiennent leur origine des formations carbonatées qui affleurent sur les bordures, alors que les sulfates sont liés aux rejets des eaux usées dans l'oued el kaim à l'est de terrain des bordures..

**b : Diagramme de Shoeller-Berkalof**

Ce type de représentation, établi par Shoeller et repris par Berkalof, nous portons sur un semi logarithmique les quantités des anions et des cations sur l'axe des ordonnées et sur les abscisses les éléments chimiques à pas régulier, et ceci pour chaque point d'eau de prélèvement..



**Figure IV-23 :** Diagramme de Shoeller- Berkaloff, des eaux superficielles du barrage réservoir Oued el athmania (avril et mai 2016).

La représentation graphique des analyses d'eau sur ce diagramme permet :

- Une comparaison facile entre plusieurs eaux
- La détermination de la quantité de CO<sub>2</sub> libérer en mg/l
- La détermination de PH d'équilibre

### VII-2 : Aptitude des eaux à l'irrigation:

Etant donné que la région est à vocation agricole, la majeure partie de la zone du bassin est occupée par les cultures maraîchères, de ce fait une étude chimique détaillée des eaux pour l'irrigation s'avère nécessaire pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments chimiques pour les plantes et le sol. Les normes de qualité de l'eau destinée à l'irrigation tiennent compte des caractères chimiques de l'eau, en particulier sa salinité, de la nature des cations mais également de la nature des cultures, du type de sol, du climat, de la méthode d'irrigation et les propriétés du drainage du sol.

#### VII-2-1 : Risque de sodicité et de salinité : Diagramme du SAR :

Le danger que représentent les concentrations élevées en éléments chimiques tel que le Sodium (Na<sup>++</sup>), implique une étude de l'évolution de la minéralisation de l'eau pour l'irrigation.

Le principe consiste à une représentation graphique qui met en évidence les valeurs de la conductivité en fonction du S.A.R.

➤ **Définition de SAR :**

Le SAR est définie comme étant une mesure de pouvoir de remplacement des ions Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> par la Sodium (Na<sup>+</sup>) dans les argiles et les colloïdes. En effet, pour un SAR donné, la vitesse d'infiltration augmente au fur et à mesure que la salinité de l'eau augmente, il peu être estimé par la relation de RICHARD (1954):

$$S.A.R = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}}$$

Où : Na : La concentration de Na<sup>+</sup> en mé / l ;

Ca : La concentration de Ca<sup>++</sup> en mé / l ;

Mg : La concentration de Mg<sup>++</sup> en mé/l ;

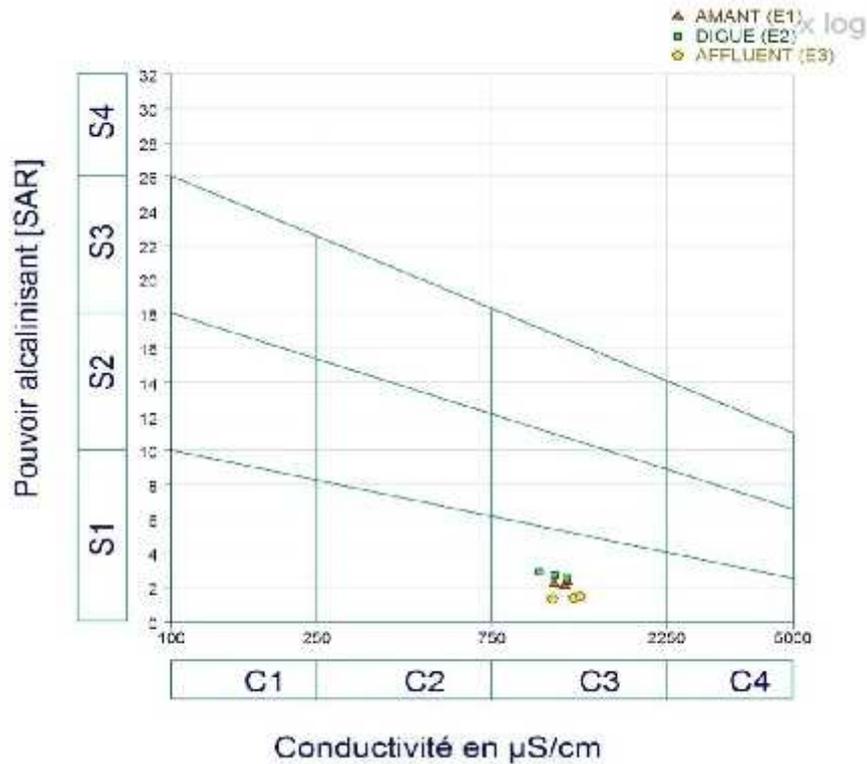
Les valeurs sont portées sur **le tableau (VI-18)**

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau permet de faire une classification de l'eau destinée à l'irrigation.

Après avoir reporté des différentes valeurs sur le graphe **Figure (VI-19)**. Nous Remarquons que les eaux barrage réservoir d'ouled el kaim présentent en général un degré de salinité faible(S<sub>1</sub>), une conductivité élevée (C<sub>3</sub>).

**Tableau IV-18 : Calcul du S.A.R**

	N° éch	Na <sup>++</sup> mé / l	Ca <sup>++</sup> mé/l	Mg <sup>++</sup> mé/l	SAR	CE μ S/cm
<b>E1</b>	<b>01</b>	4,739	5,6	4,646	0,213	1180,78
	<b>02</b>	4,865	4,85	5,04	0,198	1114,41
	<b>03</b>	4,782	4,7185	3,928	0,252	1207
<b>E2</b>	<b>04</b>	5,878	5,65	3,833	0,251	1111
	<b>05</b>	6,534	5,95	3,975	0,241	1010,16
	<b>06</b>	5,217	4,35	4,05	0,246	1203
<b>E3</b>	<b>07</b>	3,217	6,9	3,483	0,255	1255,66
	<b>08</b>	3,447	7,3	3,543	0,248	1307,41
	<b>09</b>	3,043	7,3	3,233	0,263	1099



**Figure IV-24 :** Classification des eaux d’irrigation du barrage Réservoir Ouled el Kaim selon la méthode de S. A .R D’après : Richard.1954

**VII-2-2 : Influence de la sodicité et de la salinité de l’eau sur la perméabilité du sol :**

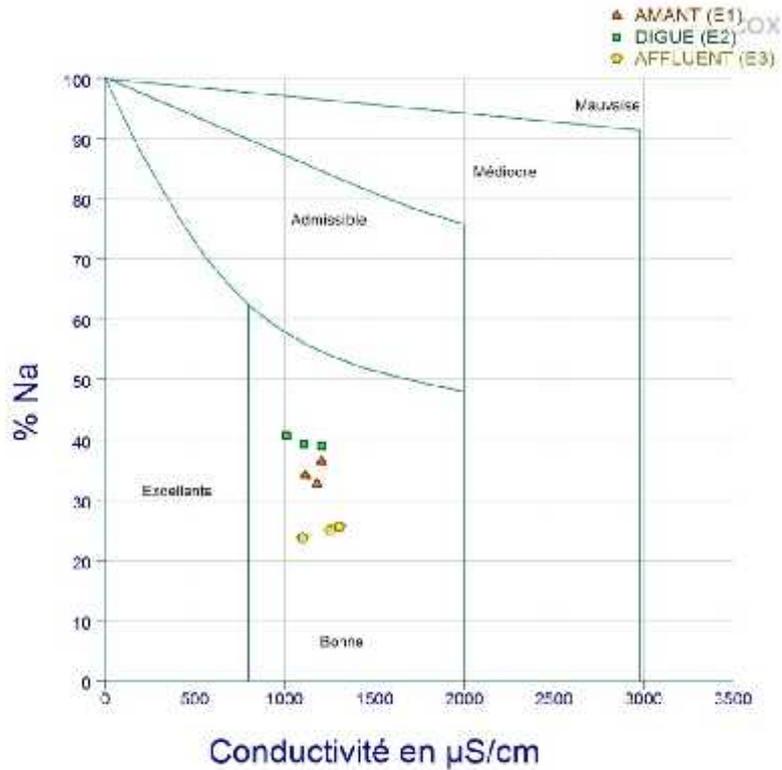
**a : Classification de Wilcox :**

En milieu salé, la conduite de l’irrigation est fortement influencée par la perméabilité du sol. Dans un sol salé imprégné de Na Cl, la perméabilité reste bonne tant que la solution saline percolant présente une charge élevée en électrolytes. Cette charge maintient les argiles floculées. Maintenant, si l’eau d’irrigation est chargée en sodium, le nombre d’ions Na<sup>+</sup> combiné avec le sol, augmente, cependant une quantité équivalente en cations et essentiellement en Ca<sup>++</sup> est déplacée. On assiste à une dégradation de la structure, avec un gonflement des argiles,

ce qui entraîne une imperméabilisation du milieu. Le processus de dessalement et de drainage risque alors d’être stoppé. Dans le cas où le calcium est dominant, l’échange de base se fait dans le sens inverse créant ainsi un sol floculé et plus perméable. L’apport de Ca SO<sub>4</sub> au sol peut par l’échange de base, améliorer la texture du sol ainsi que son drainage.

Cette classification basée sur la conductivité, et le pourcentage du Sodium (Na<sup>+</sup>) soluble est définie par la formule suivante.

$$Na(\%) = \frac{(Na + k).100}{Ca + Mg + (Na + K)}$$



**Figure IV-25:** Classification des eaux d’irrigation du barrage Réservoir Ouled el kaim d’après la méthode de Wilcox

Cette formule nous donne la charge du sodium ( $\text{Na}^+$ ) dans l’eau d’irrigation ; puisque si le nombre de  $\text{Na}^+$  combiné avec le sol augmente on aura une dégradation de la structure avec gonflement des argiles se qui rend le milieu imperméable. L’augmentation de la charge de  $\text{Na}^+$  influence négativement le développement des plantes. Le diagramme de Wilcox est une représentation graphique du pourcentage du Sodium (%Na) en fonction de la conductivité électrique ; permettant de déterminer le risque de salinité des eaux.

D’après le digramme de Wilcox **figure (VII-25)**, on constate que la majorité des eaux du bassin sont bonnes pour l’irrigation, avec un pourcentage de Sodium ne dépasse pas les 40% pour la quasi-totalité des échantillons.

**VIII : Apport de l’Analyse en Composant Principales (ACP) :[9]**

Le traitement des nombreuses données chimiques de deux mois (Avril et Mai 2016), a nécessité l’utilisation de l’analyse en composantes principales (ACP). Pour d’avancer des hypothèses, d’autant plus que nous ne traitons ici que les éléments majeurs.

Ce qui ne représente qu’une tendance et certains éléments peuvent en dissimuler d’autres. Pour effectuer ce traitement, nous disposons de données chimiques, étalées sur deux mois.

**VIII.1 : Caractéristique de la méthode :**

La méthode regroupe le traitement des descriptions et de comparaisons simultanées des différentes variables et l'analyse des données multidimensionnelles qui fait partie de la statistique descriptive. Nous cherchons à mettre évidence les liens éventuels de deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution.

**A : Principe de la méthode :**

La méthode consiste à chercher des plans de projections sur lesquels la visualisation du nuage serait possible et sur lesquels sa projection s'effectuerait avec un minimum d'erreur.

L'application de la méthode consiste à dresser un tableau à deux entrées, l'une pour les variables chimiques et l'autre pour les échantillons qui consistent les unités statistiques (U.S) ; les valeurs des variables pour toutes les unités statistiques peuvent être représentées par un nuage de points, aussi bien dans l'espace des variables que dans l'espace des unités statistiques.

**B : Traitement statistique :**

Une analyse statistique par composantes principales (ACP) a été effectuée sur un tableau de 09 individus et de 12 variantes ( pH, conductivité,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{2+}$ ).

L'analyse a été poussée jusqu'à trois facteurs et 87,90% de la variance (**Tableau VI-17**), ont pu-être exprimés.

**C: Matrices de corrélation:**

L'examen du (**tableau IV-19**) montre plusieurs corrélations significatives.

**Tableau IV-19** : Matrice des corrélations entre les différents variables au seuil de 5% et avec 09 d'échantillons ( $r = 0,477$  soit  $r^2 = 0,2275$ )

	Ph	CE	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	NO2	PO4
pH	1											
Condi	0,234	1										
Ca	0,035	0,177	1									
Mg	0,736	0,222	<b>0,686</b>	1								
Na	0,088	0,615	0,642	0,469	1							
K	0,467	0,150	0,690	0,142	0,087	1						
Cl	0,562	0,161	<b>0,416</b>	0,106	0,010	0,706	1					
SO4	0,647	<b>0,216</b>	0,020	<b>0,450</b>	0,348	0,088	0,547	1				
HCO3	0,144	0,558	<b>0,440</b>	0,240	<b>0,342</b>	<b>0,776</b>	<b>0,613</b>	0,275	1			
NO3	0,412	0,027	0,571	0,129	0,070	0,918	0,686	0,145	0,687	1		
NO2	0,661	0,154	0,152	0,387	0,168	0,566	0,877	0,632	0,414	0,514	1	
PO4	0,537	0,365	0,638	0,801	0,610	0,135	0,382	0,507	0,002	0,096	0,636	1

On remarque que la conductivité est du aussi bien liée aux évaporitiques ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), La présence de cet élément est due à la dissolution des évaporites tel que,  $[\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}]$ .

Le calcium a une double liaison, la 1<sup>ère</sup> avec les éléments carbonatés Mg et HCO<sub>3</sub> et la seconde avec les éléments salifères Cl. Cette liaison suggère une double origine qu'on pourra discuter plus bas.

Pour le magnésium, il a une seule liaison, salifère (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ce qui pourrait suggère également une origine évaporitique.

Les éléments salifères (Na, K, Cl,) semblent bien corrélés avec les bicarbonates (HCO<sub>3</sub>).

#### D : L'analyse du cercle de l'ACP :

L'analyse des variables (**Tableau IV-17**), **Figure (IV-26)** et **Figure (IV-27)** montre que le facteur 1 est déterminé par le pH, K, Cl, NO<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub> et à moindre degré par les bicarbonates, c'est donc le facteur de la contamination par les polluants agricole NO<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub>.

Le facteur 2 est déterminé par les éléments terrigènes Ca, Mg, et PO<sub>4</sub> c'est donc le facteur de la contamination par les éléments terrigènes.

Le facteur 3 est déterminé par la conductivité, Ca, Na, SO<sub>4</sub> et HCO<sub>3</sub>, et à moindre degré par le potassium c'est donc le facteur de la minéralisation. Ce facteur oppose donc les eaux minéralisées aux eaux faiblement minéralisées.

L'analyse du plan factoriel des individus (F1/F3). (**Tableau IV-21**) montre que les échantillons E1, E3, qui sont caractérisées par des eaux relativement chargées. Les deux stations se trouvent localisées au sud de la cuvette du barrage et à l'aval de ce dernier où on a une concentration maximale des minéralisations. Par contre au niveau de station E2, on a une dilution des éléments nitrique et phosphorique ou on a la pollution par le lessivage des terrains agricoles.

**Tableau IV-20: Valeurs propres**

	F1	F2	F3
<b>Valeurs propres</b>	4,629	3,677	2,24
<b>Variabilité (%)</b>	38,576	30,645	18,68
<b>% cumul</b>	38,576	69,221	87,90

Tableau IV- 21 : Cosinus carrés des variables :

	F1	F2	F3
pH	<b>0,586</b>	0,130	0,066
Cond	0,091	0,083	<b>0,530</b>
Ca	0,089	<b>0,822</b>	0,022
Mg	0,107	<b>0,755</b>	0,017
Na	0,024	0,353	<b>0,545</b>
K	<b>0,627</b>	0,286	0,018
Cl	<b>0,851</b>	0,018	0,010
SO4	0,258	0,087	<b>0,580</b>
HCO3	0,406	0,151	<b>0,426</b>
NO3	<b>0,560</b>	0,247	0,003
NO2	<b>0,814</b>	0,030	0,024
PO4	0,217	<b>0,715</b>	0,000

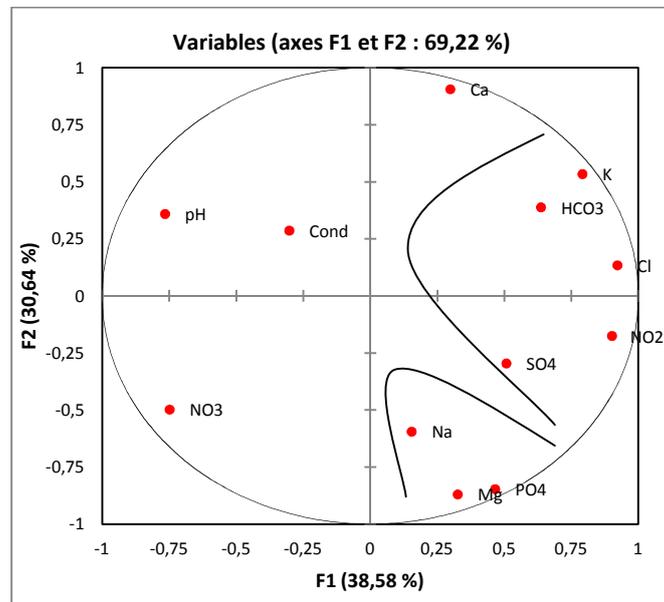


Figure IV-26: Plan factoriel F1-F2 des variables

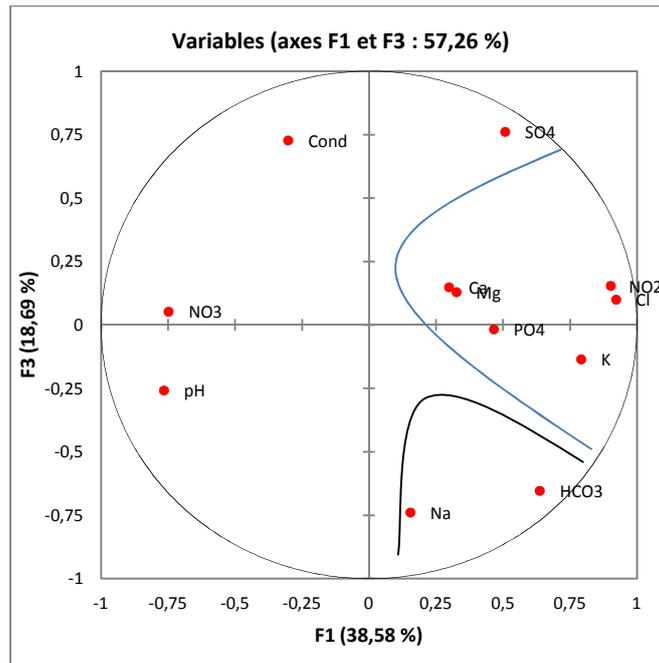


Figure IV-27 : Plan factoriel F1-F3 des variables

Tableau IV-23 : Cosinus carrés des individus

	F1	F2	F3
04/02/2016	0,146	<b>0,514</b>	0,276
21/04/2016	0,394	<b>0,481</b>	0,059
05/02/2016	0,158	<b>0,365</b>	0,108
04/02/2016	0,017	0,009	<b>0,734</b>
21/04/2016	<b>0,456</b>	0,003	<b>0,527</b>
05/02/2016	<b>0,866</b>	0,038	0,033
04/02/2016	0,131	<b>0,558</b>	0,230
21/04/2016	0,228	<b>0,576</b>	0,099
05/02/2016	0,095	<b>0,564</b>	0,000

**Conclusion:**

Ce chapitre consacré à l'hydrochimie est le plus importante. Dans cette partie nous avons essayé de donner un aperçue sur la qualité des eaux de cette cuvette. On remarque que celle-ci sont moins chargé, démontrant des eaux de bonne qualité, avec une légère pollution par des rejets qui sont ou bien domestiques (rejets de oued el kaim),ou agricole a cause de la concentration des nitrates et phosphates par le lessivage et ruissèlement des engrais dans le sol comme le montrés l'analyse en composantes principales.

## CONCLUSION GÉNÉRALE :

Le travail réalisé pour le but de la détermination de la qualité des eaux de la retenue collinaire barrage réservoir Oued El Athmania (wilaya de Mila), appartient à la région Nord Est de l'Algérie.

Ce barrage est alimenté par des eaux de ruissèlement d'Oued el Kaim et des eaux transfèrent à partir des eaux de barrage Beni-Haroun. L'ouvrage est construit pour le cadre de transfert des eaux du barrage Beni Haroun vers cinq wilaya (Batna, Oum El Bouaghi, khnchla, constantine, Mila).

L'étude de la géomorphologie a montré que le sous bassin d'Oued El Kaim appartient au grand bassin de Kebir-Rhumel, il occupé une superficie de 16.5 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 12.25 km.

La géologie de la région est très hétérogène, caractérisée par des dépôts détritiques du Crétacé inférieur, des dépôts argilo carbonatés du Crétacé supérieur et du Jurassique, les sédiments tertiaires sont à dominante carbonatée, du Paléocène jusqu'à l'Eocène moyen, tandis que le Néogène est essentiellement détritique, les formations du Crétacé et du Jurassique forment les principaux reliefs et les dépôts du Paléogène et Néogène.

La région présente un climat semi-aride à aride, l'hiver est la saison la plus pluvieuse avec une précipitation de 144.86mm, la température moyenne annuelle est de 20.04°C pour une série d'observation de 26 ans (1990-2015) au niveau de station climatologique de barrage Hammam Grouz.

L'application de la formules de THORNTWAITE pour les précipitations et les températures, nous permet de donner une idée sur le comportement hydro-climatique du ce bassin versant, la précipitation moyenne annuel est de 422.16 mm (pluies, grêles, neige), un ETR est de l'ordre de 394.93 mm, un ruissèlement de 27.16 mm et une infiltration de 329.45 mm, le déficit agricole commence à partir de mois de Mai et se prolonge jusqu'à mi-novembre.

Le suivi hydrochimique des eaux du bassin versant du Ouled el Kaim au cours de deux mois a permis de donner un aperçu sur la qualité de ces eaux. D'après les différents classifications ou part regrouper les eaux en plusieurs famille (famille sulfatée calcique et magnésienne).

La représentation des analyses sur les différents diagrammes de (SAR, Wilcox), nous ont donné que les eaux de barrage Oued El Kaim sont caractérisées par des minéralisations moyennes et un caractère incrustante, ce qui nous permis de dire que les eaux de barrage réservoir Oued El Athmania sont bonne à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

## Bibliographie

- [1] : **ABH-CSM (1999-2015)**. Les cahiers de l'Agence. Agence de bassin hydrographique constantinois, Seybouse-Mellegue, Constantine le bassin de la Seybouse Revu. Science de la terre. Constantine, n°1, 35p.
- [2] : **MEBARKI A, (1994)** : le barrage d'Hammam Grouz (Haut Rhumel, Constantinois) : bilan perspectives d'un aménagement hydraulique en zone semi-aride, Méditerranée, Revu. Institut Sciences de la terre. Constantine, 34p, 15-22.
- [3] : **BOUILLIN.J.P (1997)** : carte géologique de la Kabylie dans la région de Collo et d'EL Milia. Service de la carte géologique de l'Algérie.
- [4] : **David.L. (1956)**.Etude des monts de la haute Medjerda. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin N°11.Alger, 1956.
- [5] : **Vila.J.M, (1980)**. La plaine alpine d'Algérie orientale et ses confins Algéro- tunisiens. Doctorat d'Etat. Université pierre et Marie curie, Paris VI.
- [6] : **MEBARKI A, (1999)** : Approche hydrogéologie des bassins du Nord-Est Algérien, dans Actes des journées d'informations et d'études (Constantine, 20-21 Oct. 1998), la nouvelle politique de l'eau, les agences de bassin hydrographique et le bassin Constantinois- Seybouse-Mellègue, A.B.H-C.S.M, Constantine
- [7] : **LABORDE. J.P (2009)**. ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE Université de Nice - Sophia Antipolis.
- [8] : **BENCHAAR. C (1999)**. Apport de l'analyse en composantes principales dans l'application des mécanismes hydrochimiques des oueds Seybouse, Kibir Est et Kibir Ouest (Est Algérie). Mémoire Magister. I. de chimie. Université de ANNABA.
- [9] : **RODIER.J (2008)**. L'analyse de l'eau, éditions, Paris Dunod, Paris

### Sites internet :

- [www.les analyses de l'eau .com](http://www.lesanalysesdeleau.com)
- [www . qualités des eaux.com](http://www.qualitedeseaux.com)
- [www.diagramme de piper.com](http://www.diagrammedepiper.com)
- [www.ACP.com](http://www.ACP.com)