

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE Saad DAHLAB – BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Science de l'Eau**

Thème :

**Etude calco-carbonique des eaux du Barrage de Boukourdane
(Wilaya de Tipaza)**

Présenté par :

DAOUAOUI Wahiba

HAMDI Abir

Devant le jury composé de :

M. REMINI B.	Professeur, U. de Blida 1	Président
M. BESSENASSE M.	Professeur, U. de Blida 1	Examineur
Mme. BOUZOUIDJA	Maitre assistant, U. de Blida 1	Examinatrice
M. GUENDOZ A.	Professeur, U. de Blida 1	Promoteur

Promotion 2017/2018

Remerciements

Nous remercions Dieu Le Tout Puissant, pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour nous avoir permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

Au terme de ce travail, Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à Mr, Guendouz(notre promoteur) pour son soutien, ses conseils et ses orientations

Nous remercions la présidente et les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Nous voudrions aussi remercier l'ensemble des professeurs, la Direction de département des Sciences de l'Eau et Environnement pour avoir veillé à notre formation.

Un Remercement pour le Directeur de la station de traitement Sidi Amar Mr Handi Mahmoud, et Mr Daouaoui Mohamed, et le Cadre Analyste de la station Mme Warda Chabni et chef laboratoire de seel de Tipaza Mme Faiza Mikati.

Merci à tous nos amis de l'Université chacun son nom.

Dédicaces

*Je remercie ALLAH m'avoir donné la capacité
d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience
d'aller jusqu'au bout du rêve*

*Je dédie mon travail à mes chères parents qui me
donnent le courage et l'espoir jusqu'à la fin de mon
projet.*

*A mes professeurs Mr, Bensafia et Mr, Taïbi qui ont
donnés l'espoir pour terminer mes études.*

A ma grande sœur Rania et son mari.

A ma petite sœur Yousra.

A mes adorables frères Adnane et Maamar.

A ma chère Miral.

le Cadre Analyste de la station M, Youcef Abssi

A toute la promotion 2018 des Sciences de l'Eau.

A tous mes amis et mes collègues...

A ma sœur (binôme) Wahiba.

Abir

Dédicaces

*Je remercie ALLAH m'avoir donné la capacité
d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience
d'aller jusqu'au bout du rêve*

*Je dédie mon travail à mes chères parents qui me
donnent le courage et l'espoir jusqu'à la fin de mon
projet.*

A mon fiancé et son famille.

A mes adorables frères Mohamed et sa femme, Fethi.

A ma jolie Rihab.

A tous ma grande famille.

A tous mes amis et mes collègues.

A toute la promotion 2018 des Sciences de l'Eau.

A ma sœur (binôme) Abir.

Wahiba

ملخص

تتكون دراستنا من تحديد نوعية المياه لسد بوكردان ، ولاية تيبازة ، من خلال دراسة فيزيائية - كيميائية وكالكوكربونية للمياه الخامة في السد ومياه المعالجة على مستوى محطة معالجة مياه الشرب في سيدي عمر.

لقد بينت هذه الدراسة تأثير بعض المعايير الفيزيائية الكيميائية التي هي بالدرجة الأولى: درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، والتوصيل الكهربائي، والتعكر، والمواد الصلبة الذائبة، وكذلك تحديد بعض الأيونات: النتريت، النترات، الكالسيوم و المغنيزيوم، الكلور، بيكربونات، وتوازن الكربون.

وفقا لنتائج التحاليل التي تم الحصول عليها ، فقد وجدنا أن الجودة الفيزيائية الكيميائية ومعلومات النظام الكربوني للمياه في سد بوكوردان مقبولة لأن هذه النتائج متوافقة مع المعايير التي وضعتها الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية وتوصيات منظمة الصحة العالمية للمياه الخام.

مفتاح الكلمات: سد بوكردان ، المياه الخامة ، المياه المعالجة ، الجودة الفيزيائية الكيميائية ، دراسة كالكوكربونية.

Résumé

Cette étude consiste à déterminer la qualité des eaux du barrage de Boukourdane, wilaya e Tipaza, à travers une étude physico-chimique et calco-carbonique de l'eau brute du barrage et celle de l'eau traité au niveau de la station de traitement de l'eau potable de Sidi Amar.

L'étude a concerné les principaux paramètres physico-chimiques qui sont : la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité et TDS ainsi que le dosage de certains ions : Nitrite, Nitrates, Calcium, et Magnésium, Sulfate, Chlorures, Bicarbonate Titre alcalimétrique complet, et détermination de CO₂ équilibrant.

D'après les résultats des analyses obtenus, il ressort que la qualité physico-chimique et les paramètres de système calco-carbonique de l'eau du barrage de Boukourdane est acceptable car ces résultats sont conformes aux normes établies par le Journal Officiel de la République Algériennes et aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé pour les eaux brutes.

Mots clés : Barrage Boukourdane, eau brute, eau traité, qualité physicochimique, étude calco-carbonique.

Abstract

This study consists to determine the quality of the water of the Boukourdane dam, wilaya of Tipaza, through a physico-chemical and calco-carbonic study of the water of the dam and that of the treated water at the level of the drinking water treatment plant of Sidi Amar.

We studied the effect of some physico-chemical parameters which are mainly: temperature, pH, electrical conductivity, turbidity and TDS as well as the determination of certain ions: Nitrite, Nitrates, Calcium, and Magnesium, Sulfate, Chlorides, Bicarbonate, Complete alkalimetric title, and determination of CO₂ equilibrating.

According to the results of the analyzes obtained, it has been found that the physico-chemical quality and the parameters of the calco-carbonic system of the water of the Boukourdane dam are acceptable because these results are in conformity with the standards established by the Official Journal of the Republic of Algeria and the recommendations of the World Health Organization of water.

Key words: Boukourdane dam, raw water, treated water, physico-chemical quality, calco-carbonic study.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Equilibre calco-carbonique

Introduction

I.1. Définition de l'équilibre calco-carbonique.....	(1)
I.2. Origine de gaz carbonique dissous dans l'eau.....	(1)
I.3. les paramètres de l'équilibre.....	(1)
I.3.1. les éléments fondamentaux.....	(2)
I.3.2. les éléments caractéristiques.....	(2)
I.4. Le système calco-carbonique.....	(2)
I.4.1. Les équations de base du système.....	(4)
I.5. La solubilité d'un minéral.....	(8)
I.5.1. Solubilité de la calcite.....	(8)
I.5.2. Solubilité de la dolomite.....	(9)
I.5.3. Solubilité du gypse.....	(10)
I.6. Indice de saturation.....	(10)

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

II.1. Situation géographique.....	(14)
II.2. Bassin versant.....	(16)
II.3. Caractéristiques principales de barrage de Boukourdane.....	(17)
II.3.1. Le barrage.....	(17)
II.3.2. Système de prise d'eau.....	(18)
II.3.3. Evacuateur de crues.....	(19)
II.4. Contexte géologique, hydro climatologique.....	(20)
II.4.1. Contexte géologique.....	(20)
II.4.2. Contexte hydro climatologique.....	(21)

Chapitre III : Méthodologie

III.1. Objectif de l'étude.....	(25)
III.2. Description de système du prélèvement (barrage-station).....	(25)
III.3. Fonctionnement de la station de traitement de Sidi Amar.....	(26)
III.4. Matériel et méthodes d'analyse.....	(32)
III.4.1. Analyse physico-chimique.....	(34)
III.4.2. Analyse des paramètres de minéralisation.....	(38)
III.4.3. Analyse des paramètres de pollution.....	(45)
III.5. Présentation des analyses.....	(48)

Chapitre IV : Discussion et interprétation des résultats

Introduction.....	(51)
IV.1. Variation saisonnière des éléments chimiques.....	(51)
IV.2. corrélation entre les éléments chimiques.....	(58)
IV.3. Variation des éléments de système calo-carbonique.....	(61)
Conclusion général	
Référence bibliographique	

Annexes

CHAPITRE I

ASPECTS BIBLIOGRAPHIQUE DE SYSTEME CALCO- CARBONIQUE

CHAPITRE II

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

CHAPITRE III

METHODOLOGIE

CHAPITRE IV

DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS

Chapitre I

Equilibre calco- carbonique

Introduction

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux naturelles, ainsi que leur action sur le milieu environnant, sont souvent traitées comme des cas particuliers à cause de la complexité des relations entre les ions présents. Ces équilibres sont instables en raison des variations de température et des teneurs en gaz dissous (évasion ou dissolution),

Ce qui amène de nouvelles réactions et conséquences sur le milieu en contact avec l'eau.

En particulier, les problèmes de traitement, d'incrustation ou de corrosion sont générés par les variations d'équilibres physicochimiques et posent des problèmes techniques pour le captage, l'adduction et la distribution des eaux. L'étude de ces problèmes nous amène presque toujours à ce que l'on peut appeler les «équilibres calco-carboniques».

I.1. Définition de l'équilibre calco-carbonique

Toutes les eaux contiennent en quantité plus ou moins importante, de l'acide carbonique, des ions mono hydrogénocarbonates et carbonates. Toutes ces espèces chimiques sont interdépendantes. Il s'agit de l'équilibre calco-carbonique.

Le comportement d'une eau dépend du fait qu'elle soit ou non équilibrée. Lors de son parcours dans les canalisations, elle fera tout pour le trouver. Les eaux agressives ou corrosives attaquent la couche calcaire. Celles qui sont entartrant ou incrustant, provoquent le colmatage par dépôt calcaire. [1]

I.2. Origine de gaz carbonique dissous dans l'eau.

L'origine première d'une eau naturelle (source, puits, rivière, lac) est toujours la pluie. Au cours de la chute de la pluie, il se produit une faible dissolution du gaz carbonique de l'air; puis, au cours de l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol, une dissolution beaucoup plus importante du gaz carbonique libéré dans les couches superficielles par les actions biologiques souvent intenses qui se développent au niveau des terres végétales. Enfin, en profondeur, l'eau peut dissoudre du gaz carbonique d'origine géologique.

Ces eaux contiennent également des sels dissous plus ou moins dissociés, soit :

- ✓ Des sels d'acides et de bases fortes.
- ✓ Des sels d'acides et de bases faibles. [2]

I.3. les paramètres de l'équilibre

L'équilibre calcocarbonique fait intervenir le dioxyde de carbone, les ions hydrogénocarbonates et les ions carbonate ; ions qui proviennent de l'association naturelle de l'eau et du gaz carbonique ainsi que les ions calcium et ceux qui proviennent de l'autoprotolyse de l'eau (hydroxyle et hydronium). [3]

On peut classer les éléments présents en deux catégories :

I.3.1. les éléments fondamentaux

Il s'agit de :

- Carbonate de calcium CaCO_3
- Acide carbonique $\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{CO}_{2\text{libre}}$

L'ensemble des anions et des cations est représenté dans le tableau. I.1.

Tabl.I.1. Eléments fondamentaux en cations et en anions. [4]

Cations		Anions	
Hydronium	H^+	Hydroxyle	OH^-
Calcium	Ca^{2+}	Carbonate	CO_3^{2-}
		Hydrogénocarbonate	HCO_3^-

I.3.2. les éléments caractéristiques

Les éléments caractéristiques sont représentés dans le tableau.I.2.

Tabl.I.2. Eléments caractéristiques. [4]

Cations		Anions	
Magnésium	Mg^{2+}	Sulfate	SO_4^{2-}
Sodium	Na^+	Chlorure	Cl^-
Potassium	K^+	Nitrate	NO_3^-

I.4. Le système calco-carbonique

C'est l'ensemble formé par trois types de composés chimiques, qui sont :

- Dans l'atmosphère : le gaz carbonique (CO_2).
- Dans l'eau : les composés de l'acide carbonique : H_2CO_3 , HCO_3^- (bicarbonates) et CO_3^{2-} (carbonates)
- Dans les roches : les minéraux carbonatés (surtout calcite (CaCO_3), et dolomite (Ca, Mg CO_3))

Ces divers composés sont en relation. Au contact entre eau et atmosphère, il peut y avoir dissolution ou dégazage de gaz carbonique. Au contact entre eau et roches, il peut se produire une dissolution ou une précipitation de calcite - par exemple -. C'est en ce sens que l'on peut définir l'ensemble de ces composés comme un système, puisque toute modification de l'un des termes entraîne des variations de chacun des autres.

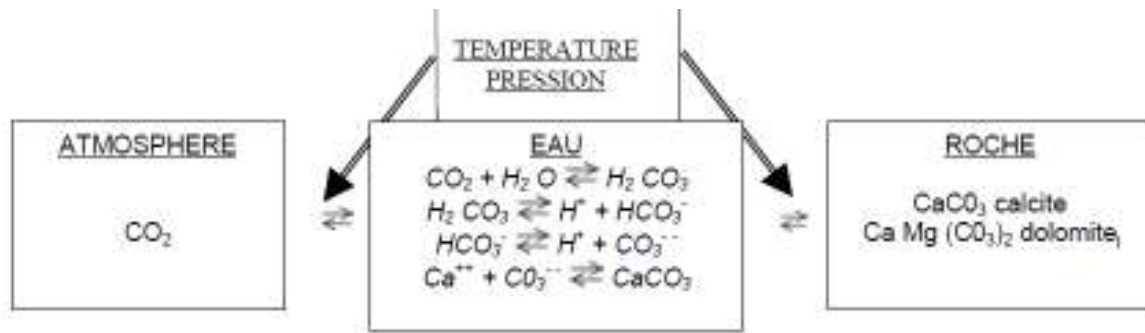


Fig.I.1. Échanges dans le "système calco-carbonique".

Cet ensemble de réactions, intérieurement dépendant des conditions. Les vitesses de dissolution ou de dégazage sont très variables selon le gaz considéré. Le gaz carbonique se dissout dans l'eau pour atteindre un équilibre en quelques heures. D'autres facteurs comme la température, la pression, le pH et la minéralisation de l'eau, influent sur cette cinétique. Les réactions d'échange entre phase gazeuse et phase liquide sont généralement plus lentes que les réactions homogènes en phase liquide. Peut être résumé par la réaction de dissolution de la calcite au contact d'une eau chargée en gaz carbonique.



Chacune des réactions de la figure 1 sont des réactions réversibles pour lesquelles on peut définir des états d'équilibre

Le système ne peut être appréhendé dans sa totalité que si l'on tient compte de la présence simultanée des trois phases suivantes :

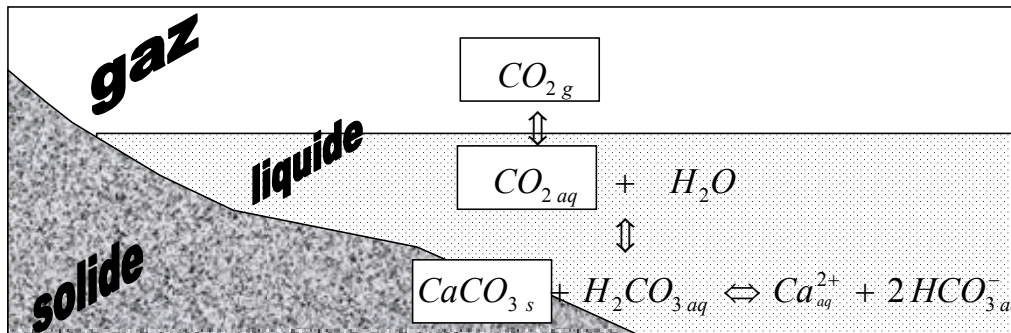


Fig.I.2. Trois phases de système.

La variation des espèces carbonatées en fonction du pH, avec T=25° est représentée selon la figure suivante :

- Si le pH < 6,5 → CO₂
- Si le 6,5 < pH < 10,5 → HCO₃⁻
- Si le pH > 10,5 → CO₃²⁻

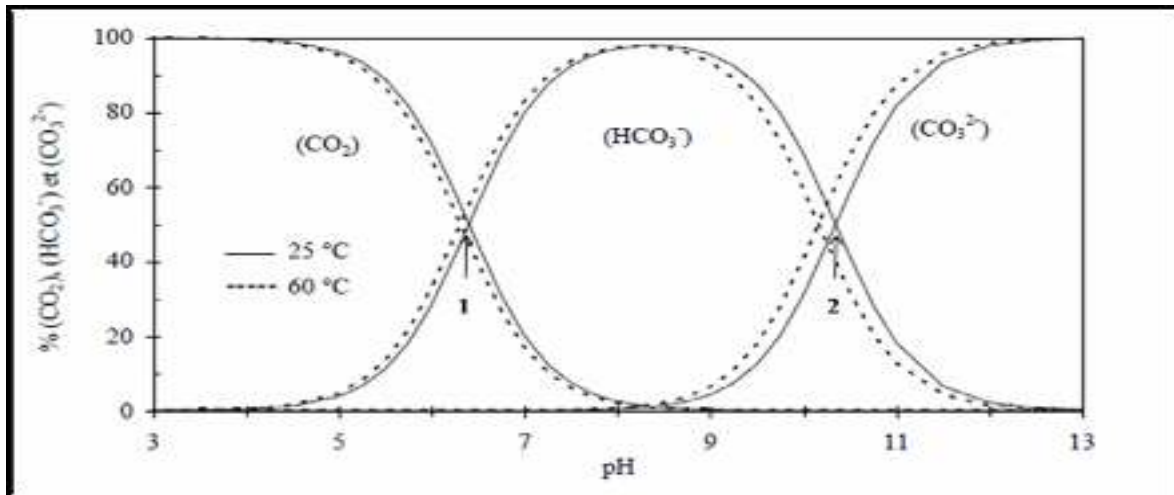
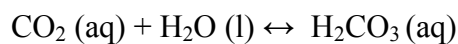
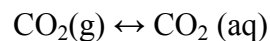


Fig.I.3. Variation des espèces carbonatées en fonction du pH.

I.4.1. Les équations de base du system

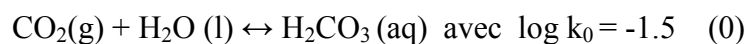
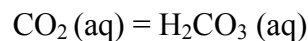
- Interface eau /atmosphère :

Lors de sa dissolution le CO₂ réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique: H₂CO₃ Les deux réactions suivantes peuvent être écrites lorsque l'équilibre s'est établi entre les deux phases :



Par convention on admet qu'à l'équilibre tout le CO₂ dissous.

CO₂(aq) est présent sous forme de H₂CO₃(aq), ce qui revient à écrire :



La valeur de la constante de dissociation k_0 , de cet équilibre, est proche de $10^{-1,5}$ soit 0,03. ce que l'on écrit souvent sous la forme soit de $\log k_0 = -1,5$ soit de $\text{pk}_0=1,5$.

L'application de la loi de masse permet de calculer la quantité de CO₂ dissous dans de l'eau pure exposée à l'air libre.

$$K_0 = \text{H}_2\text{CO}_3 / \text{CO}_2(\text{g}) * \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$

$$\text{H}_2\text{CO}_3 = K_0 \text{CO}_2(\text{g}) * \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$

$$\text{Log H}_2\text{CO}_3 = \log K_0 + \log \text{CO}_2(\text{g}) + \log \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$

Les concentrations, entre parenthèses, s'expriment en mole par litre ou en atmosphère pour les gaz. Ayant affaire à des solutions extrêmement diluées la concentration de l'eau reste

pratiquement la même (1000/18). Aussi, par convention écrit-on que $(\text{H}_2\text{O})=1$, donc $\log \text{H}_2\text{O}=0$.

Cette constante est évidemment incluse dans la valeur de k_0 . La concentration en CO_2 (g), s'exprimant en pression partielle de CO_2 dans l'air, se déduit de son pourcentage en volume dans l'air (0,03%).

$$\text{CO}_2(\text{g}) = \text{PCO}_2 = 0,0003 \text{ atm.}$$

$$\text{Donc } \log (\text{CO}_2) = \log \text{PCO}_2 = -3,5$$

On a donc finalement :

$$\text{Log H}_2\text{CO}_3 = \log K_0 + \log \text{PCO}_2$$

$$\text{Log H}_2\text{CO}_3 = (-1,5) + (-3,5) = -5$$

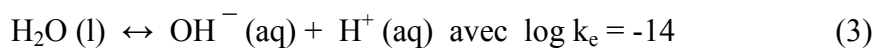
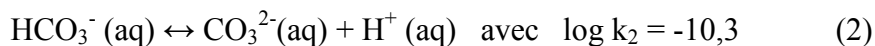
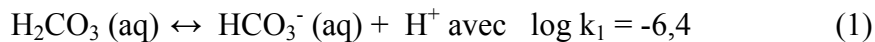
$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = 10^{-5} \text{ mole/litre}$$

C'est cette quantité, extrêmement faible, de H_2CO_3 ou de CO_2 dissous, qui donne à l'eau son pouvoir d'altération. Elle représente une concentration de 10^{-5} .

44 (g/l)=0,44(mg/l) en CO_2 dissous (44 étant le poids de la molécule-gramme de CO_2) dans le cas d'eau pure en équilibre avec l'atmosphère.

- **A l'interface liquide :**

Ces trois équilibres règlent les réactions qui ont lieu dans la phase liquide



Cette dernière réaction n'est autre que celle de la dissociation de l'eau à partir de laquelle est introduite la notion de pH.

On a en effet :

$$K_e = [\text{OH}^-] * [\text{H}^+] / [\text{H}_2\text{O}] = [\text{OH}^-] * [\text{H}^+]$$

$$\text{Log } K_e = \log [\text{OH}^-] + \log [\text{H}^+] = -14$$

Par définition :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \text{ ou, ce qui revient au même, } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

A la neutralité, c'est -à-dire à $\text{pH} = 7$ où $\log [\text{H}^+] = -7$, on a :

$$(-14) = \log [\text{OH}^-] + (-7), \text{ soit } \log [\text{OH}^-] = -7$$

Incertitude sur le pH :

Comme : $d \ln (H^+) / d (H^+) = 1 / (H^+)$

$$d \ln (H^+) = d [\log (H^+) * \log 10] = \ln 10 * d \log (H^+)$$

On a :

$$d \log (H^+) = 1 / \ln 10 * d (H^+) / (H^+)$$

$$\Delta \text{pH} = \Delta (H^+) / 2,3 * (H^+)$$

$$\Delta (H^+) = 2,3 * (H^+) * \Delta \text{pH}$$

Avec une l'eau voisine de la neutralité, $(H^+) = 10^{-7}$, et une incertitude absolue sur le pH de $\pm 0,05$ unité pH. On a :

$$\Delta (H^+) = 2,3 * 10^{-7} * 0,05 = 10^{-8}$$

Donc

$$\Delta (H^+) / (H^+) = 10^{-8} / 10^{-7} = 10 \%$$

Ainsi une mesure précise et soignée du pH à 0,05 près, qui nécessite l'emploi de deux solutions tampon, entraîne une incertitude relative de 10% sur la concentration en H^+ .

Précédemment nous avons trouvé qu'une eau pure, laissée à l'air libre, contenait 0,44mg/l de CO_2 dissous. Voyons, dans les mêmes conditions les quantités de HCO_3^- et CO_3^{2-} présents :

D'après (1) :

$$K_1 = (HCO_3^-) * (H^+) / (H_2CO_3)$$

$$(HCO_3^-) = K_1 * (H_2CO_3) / (H^+)$$

$$\text{Log} (HCO_3^-) = \text{log} K_1 + \text{log} (H_2CO_3) - \text{log} (H^+)$$

$$\text{Log} (HCO_3^-) = \text{log} K_1 + \text{log} (H_2CO_3) + \text{pH}$$

Avec : $\text{log} K_1 = -6,4$ et $\text{log} (H_2CO_3) = -5$

$$\boxed{\text{Log} (HCO_3^-) = \text{pH} - 11,4}$$

Le même traitement effectué sur l'équilibre (2) conduit à :

$$K_2 = (H^+) (CO_3^{2-}) / (HCO_3^-)$$

$$(CO_3^{2-}) = K_2 * (HCO_3^-) / (H^+)$$

$$\text{Log} (CO_3^{2-}) = \text{log} K_2 + \text{log} (HCO_3^-) - \text{log} (H^+)$$

$$\text{Log} (\text{CO}_3^{2-}) = \text{log} K_2 + \text{log} (\text{HCO}_3^-) + \text{pH}$$

Avec :

$$\text{log} K_2 = -10,3 \text{ et } \text{log} (\text{HCO}_3^-) = -11,4$$

$$\boxed{\text{Log} (\text{CO}_3^{2-}) = 2 \text{ pH} - 21,7}$$

Cette équation (1) permet de calculer le CO_2 équilibrant :

$$\text{Log} (\text{H}_2\text{CO}_3) = \text{log} (\text{HCO}_3^-) - \text{log} K_1 - \text{pH}.$$

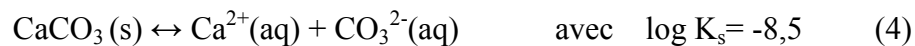
Dans laquelle K_2 est la constante d'acidité de l'ion bicarbonate, et où les parenthèses symbolisent l'activité des différents ions impliqués dans la réaction. La constante K_2 ne dépend que de la température et, très faiblement pour cette réaction, de la pression.

K_1 et K_2 sont les deux paramètres caractéristiques des relations entre pH et espèces carbonatées dissoutes.

Les réactions homogènes telles que les deux exemples cités sont des réactions très rapides. L'équilibre s'établit très généralement en quelques fractions de secondes. On peut considérer notamment dans les eaux souterraines, que toutes les réactions en phase liquide sont en permanence à l'équilibre.

- **A l'interface eau /solide :**

En prenant l'exemple de la dissolution de la calcite.



L'équilibre entre la calcite et une eau se définit par le produit de solubilité de la calcite. Celui-ci s'écrit

$$K_s = (\text{Ca}^{2+}) (\text{CO}_3^{2-})$$

Comme chaque mole de CaCO_3 qui se dissout donne naissance à une mole de Ca^{2+} et à une mole de CO_3^{2-} , on peut calculer la solubilité de calcite.

I.5. La solubilité d'un minéral

La solubilité est la capacité d'une substance, appelée soluté, à se dissoudre dans une autre substance, appelée solvant, pour former un mélange homogène appelé solution. En thermodynamique, la solubilité est une grandeur physique notée s désignant la concentration massique maximale du soluté dans le solvant, à une température donnée. La solution ainsi obtenue est alors saturée. La solubilité s'exprime en g/L ou en mol/L.

$$\text{Solubilité} = [\text{Ca}^{2+}] = [\text{CO}_3^{2-}]$$

Avec (4) $[\text{Ca}^{2+}] * [\text{CO}_3^{2-}] = K_s = (\text{solubilité})^2$

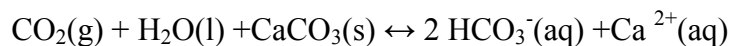
Donc $\text{Solubilité} = K_s^{1/2} = 10^{-4,25}$ mole / litre.

Une mole de calcite pesant 100g, sa solubilité est de $10^{-4,25}$. $100 \text{ g/l} \approx 6 \text{ mg/l}$. notons qu'il s'agit là de la solubilité de la dans une eau pure en l'absence de CO_2 dissous. En effet il va y avoir interférence entre les ions CO_3^{2-} produits lors de la dissociation de la calcite (4) et ceux provenant de la réaction du CO_2 dissous dans l'eau. [5], [6], [7]

I.5.1. Solubilité de la calcite

Le calcium en solution dans les eaux, s'il provient souvent la dissolution de la calcite, peut aussi être issu du lessivage des dolomies ou des dépôts gypsifères. Nous verrons l'influence de cette autre origine sur la solubilité de la calcite. De plus nous profiterons de cette occasion pour présenter les calculs à partir des énergies libres.

Soit la réaction suivante :



La variation d'énergie libre ΔG_r° de cette réaction est égale à la somme des énergies libres ΔG_f° de formation des produits (HCO_3^- et Ca^{2+}) moins la somme des énergies libres de formation des réactifs (CO_2 , H_2O , CaCO_3).

Tabl.I.3. Energie libre de formation ΔG_f° en kcal/mole à 25°C et 1 atm (Garrels et Christ, 1965).

OH^-	-37,595	$\text{CO}_3^{2-} (\text{aq})$	-126,22
H^+	0	$\text{SO}_4^{2-} (\text{aq})$	-117,34
$\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	-56,69	$\text{Ca}^{2+} (\text{aq})$	-132,18
$\text{CO}_2 (\text{g})$	-94,2598	$\text{Mg}^{2+} (\text{aq})$	-108,99
$\text{CO}_2 (\text{aq})$	-92,31	$\text{CaCO}_3 (\text{aq})$	-269,78(calcite)
$\text{H}_2\text{CO}_3 (\text{aq})$	-149	$\text{CaMg} (\text{CO}_3)_2$	-520,5(dolomite)
$\text{H CO}_3^- (\text{aq})$	-140,31	$\text{CaSO}_4,2\text{H}_2\text{O}$	-429,19(gypse)

D'après le tableau on arrive à :

$$\Delta G_r^\circ = [2(-140,31) + (-132,18)] - [(-94,26) + (-56,69) + (-269,78)]$$

$$\Delta G_r^\circ = +7,93 \text{ kcal (à } 25^\circ \text{ C et sous 1 atm)}$$

Remarquons que le ΔG_r° étant positif la réaction se poursuivra de la droite vers la gauche, c'est-à-dire que de la calcite précipitera.

On peut alors calculer la constante d'équilibre K de cette réaction :

$$\ln K = \frac{-\Delta G_r^\circ}{RT}$$

$$R = 1,98726 \cdot 10^{-3} \text{ Kcal / deg. mole}$$

$$T = 273,15 + 25 = 298,15^\circ \text{ K}$$

$$\ln 10 = 2,302$$

donc

$$\ln K = \frac{-\Delta G_r^\circ}{1,364}$$

Pour la réaction précédente :

$$\log k = \frac{+7,93}{1,364} = -5,8$$

$$[\text{Ca}^{2+}] * [\text{HCO}_3^-]^2 / [\text{CO}_2] = 10^{-5,8}$$

Ce qui entraîne, étant donné que la concentration en Ca^{2+} est moitié moindre que celle d' HCO_3^- soit :

$$2 [\text{Ca}^{2+}] = [\text{HCO}_3^-]$$

$$[\text{Ca}^{2+}]^1 * (2 [\text{Ca}^{2+}])^2 / [\text{CO}_2] = 10^{-5,8}$$

$$4[\text{Ca}^{2+}]^3 / p\text{CO}_2 = 10^{-5,8}$$

D'où

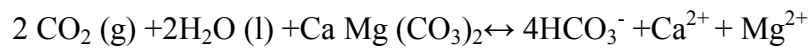
$$[\text{Ca}^{2+}] = [(10^{-5,8}/4) * p\text{CO}_2]^{1/3}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 7,3 * 10^3 * (p\text{CO}_2)^{1/3}$$

Avec $p\text{CO}_2 = 3 * 10^{-4} \text{ (atm)} \rightarrow [\text{Ca}^{2+}] = 5 * 10^{-4} \text{ (M/l)}$, soit une solubilité de la calcite de $5 * 10^{-4} * 100 \text{ (g/l)} = 50 \text{ (mg/l)}$ étant donnée qu'à 1 mole de calcium \rightarrow 1 mole de calcite

I.5.2. Solubilité de la dolomite

Soit la réaction suivante :



$$\Delta G_r^\circ = [4(-140,31) + (-132,18) + (-108,99)] - [2(-94,26) + 2(-56,69) + (-520,5)]$$

$$\Delta G_r^\circ = +20 \text{ kcal} \quad \text{et} \quad \log K = -14,66$$

$$\frac{(\text{Ca}^{2+})^1 \cdot (\text{Mg}^{2+})^1 \cdot (\text{HCO}_3^-)^4}{\text{CO}_2^2} = 10^{-14,66}$$

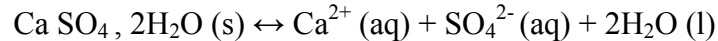
$$\frac{(\text{Ca}^{2+})^1 \cdot (\text{Mg}^{2+})^1 \cdot 2(\text{Ca}^{2+})^4}{\text{CO}_2^2} = 10^{-14,66}$$

$$16 (\text{Ca}^{2+})^6 = 10^{-14,66} (\text{pCO}_2)^2$$

$$(\text{Ca}^{2+}) = 2,27 \cdot 10^{-3} (\text{pCO}_2)^{1/3}$$

Avec $\text{pCO}_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$: $(\text{Ca}^{2+}) = 1,5 \cdot 10^{-4} (\text{M/l})$, soit une solubilité de la dolomite = 28 (mg/l).

I.5.3. Solubilité du gypse



$$\Delta G_r^\circ = [(-132,18) + (-177,34) + 2(-56,69)] - [(-429,19)]$$

$$\Delta G_r^\circ = +6,29 \text{ kcal} \quad \text{et} \quad \log K = -4,6$$

$$[\text{Ca}^{2+}] * [\text{SO}_4^{2-}] = 10^{-4,6}$$

D'où $[\text{Ca}^{2+}] = 10^{-2,3} = 5 \cdot 10^{-3} (\text{M/l})$, soit la solubilité de gypse = 2,7 (g/l). [8]

Tabl.I.4. Solubilité de Calcite, Dolomite, Gypse.

	Solubilité avec $\text{CO}_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$
Calcite seule	≈ 60 (mg/l)
Dolomite seule	≈ 30 (mg/l)
Gypse seule	≈ 2,7(g/l)

I.6. Indice de saturation

L'indice de saturation est un modèle d'équilibre extrait de la notion de saturation théorique et fournit un indicateur du degré de saturation de l'eau par rapport au carbonate de calcium. On peut montrer que l'IS est proche du logarithme (base 10) du niveau de saturation en calcite. Le niveau de saturation de Langelier se rapproche de la notion de saturation en utilisant le pH comme variable principale. L'IS peut être interprété comme le changement de pH nécessaire pour amener l'eau à l'équilibre calco-carbonique. [A]

Il est possible de définir un indice de saturation IS d'une eau vis-à-vis de la calcite par deux méthodes :

1^{er} méthode

$$IS = \log (Q/K)$$

Q est le produit d'activité des ions, $Q_c = (CO_3^{2-}) \cdot (Ca^{2+})$ pour la calcite.

K est la constante d'équilibre, $K_c = 10^{-8,5}$ pour la calcite.

Pour le cas particulier de la calcite :

$$IS_c = \log Q_c - \log K_c$$

$$IS_c = \log (CO_3^{2-}) + \log (Ca^{2+}) - \log K_c$$

On voit aisément que:

- Si IS=0 : la solution est en équilibre
- Si IS>0 : la solution est saturée (précipitation)
- Si IS<0 : la solution est sous-saturée (dissolution)

2^{eme} méthode

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité est la méthode de Langelier. Cet auteur a établi un indice Is, appelé indice de saturation ou indice de Langelier, égal à la différence entre le pH de l'eau considérée et son pHs calculé :

$$Is = pH - pHs$$

Pour calculé le pHs on utilise la formule suivant :

$$pHs = 9,3 + A + B - (C+D)$$

Où :

- A= Facteur de TDS
- B=Facteur de température
- C= Facteur de dureté du calcium exprimé en °f
- D= Facteur d'alcalinité total TAC exprimé en °f

Pour la détermination de A, B, C, D voir Annexe

Tabl.I.5. pH de saturation.

Valeur de A facteur de totalité des sels dissous (TDS)		Valeur de B facteur de température (°C)		Valeur de C facteur de dureté du Calcium (TH)		Valeur de D facteur de l'alcalinité totale (TAC)	
Ppm (mg/l)	A	°C	B	°f	C	°f	D
85 à 425	0.1	0 à 1	2,6	1 à 1,1	0,6	1 à 1,1	1,0
425 à 10 000	0.2	2 à 5.5	2,5	1,2 à 1,3	0,7	1,2 à 1,3	1,1
		6,5 à 9	2,4	1,4 à 1,7	0,8	1,4 à 1,7	1,2
		10 à 13,5	2,3	1,8 à 2,2	0,9	1,8 à 2,2	1,3
		14,5 à 16,5	2,2	2,3 à 2,7	1	2,3 à 2,7	1,4
		17,5 à 21	2,1	2,8 à 3,4	1,1	2,8 à 3,5	1,5
		22 à 26,5	2	3,5 à 4,3	1,2	3,5 à 4,4	1,6
		27,5 à 31	1,9	4,4 à 5,5	1,3	4,5 à 5,5	1,7
		32 à 36,5	1,8	5,6 à 6,9	1,4	5,6 à 6,9	1,8
		37,5 à 43,5	1,7	7,0 à 8,7	1,5	7 à 8,8	1,9
		44,5 à 50	1,6	8,8 à 11	1,6	8,9 à 11	2
		51 à 56	1,5	11,1 à 13,8	1,7	11,1 à 13,9	2,1
		56,5 à 63,5	1,4	13,9 à 17,4	1,8	14 à 17,6	2,2
		64,5 à 71	1,3	17,5 à 22	1,9	17,7 à 22,2	2,3
		72 à 81	1,2	23 à 27	2	23 à 27	2,4
		82 à 89	1,1	28 à 34	2,1	28 à 35	2,5
		90 à 96	1	35 à 43	2,2	36 à 44	2,6
		96 à 100	0,9	44 à 55	2,3	45 à 55	2,7
				56 à 69	2,4	56 à 69	2,8
				70 à 87	2,5	70 à 88	2,9
				88 à 100	2,6	89 à 100	3

On voit aisément que:

- Si $I_L=0$: la solution est en équilibre
- Si $I_L>0$: la solution est incrustante
- Si $I_L<0$: la solution est agressive [9]

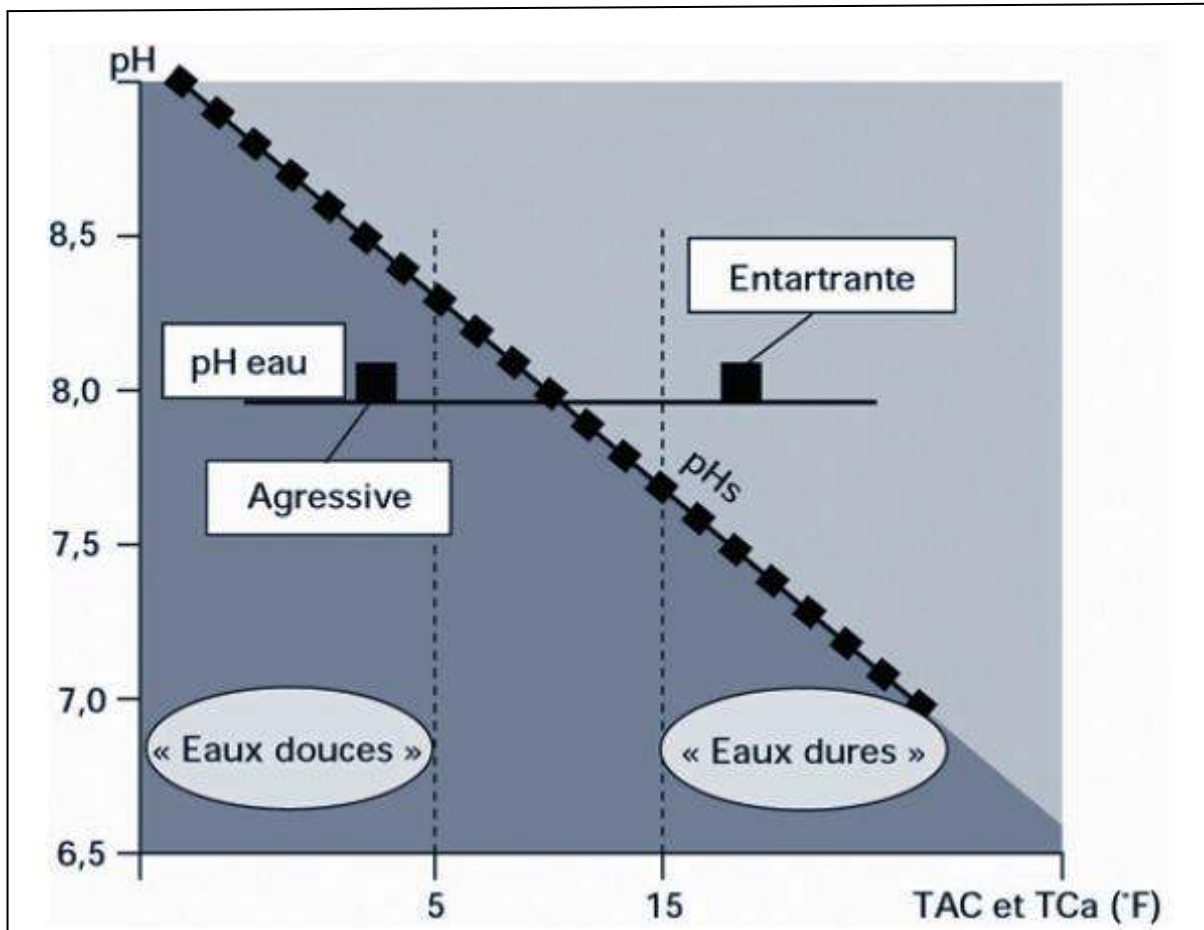


Fig.I.4. Distribution d'une eau à l'équilibre respectant les valeurs de pH compatibles avec la potabilité de l'eau.

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

II.1.Situation géographique

Le barrage de Boukourdanese situe à 1 km de l'agglomération Sidi Amar (fig.II.1) est implanté sur l'oued EL Hachem. Il est destiné à l'alimentation en eau potable des villes de Cherchell, Nador et Tipaza. Pendant les saisons des pluies la retenue peut recevoir et emmagasiner des eaux prises de l'oued Nador et refoulées par la station de pompage.

Ce plan d'eau unique en son genre est situé à mi-chemin entre la ville de Sidi Amar et Menaceur. Il est aussi un endroit privilégié par sa beauté, il aspire au calme et à la sérénité et attire les familles qui sont de plus en plus nombreuses à venir passer le week-end dans ce lieu féérique à plus d'un titre, car le site est accompagnée par un centre nautique d'envergure internationale, la pêche continentale, les loisirs et bien sûr l'aviron.

A rappeler que le site de Boukourdane a abrité les championnats arabes d'aviron suite à son inscription comme site de compétition après avoir reçu l'aval de la fédération internationale d'aviron. [10]



Fig.II.1. Localisation du barrage Boukourdane (Google Earth).

Pour les passionnés de la pêche (fig. II.2), cet endroit rime avec le sport et la détente. Les férus de la pêche à la ligne peuvent pratiquer leurs hobbies en toute tranquillité loin des bruits de la ville et de sa pollution. On y trouve beaucoup d'espèces, telles que :

La carpe royale, la carpe argenté, la carpe cuire, la carpe grande bouche, la cendre, le mullet a tête plate, le barbeau, le Black basse.



Fig.II.2. Pêche dans le barrage Boukourdane.

II.2. Bassin versant

L'ouvrage de boukourdane est un barrage enrochements, sa capacité utile de 105.10^6 m³ et permet de régulariser un volume de 50.10^6 m³. Le bassin versant de l'oued El Hachem s'étend depuis la montagne Bou-Maad au sud jusqu'à la Méditerranée au nord. Près de l'embouchure de l'oued, il y a une station hydrométrique mise en service depuis 1968. La superficie du bassin versant observée par cette station est de 243 km² (au lieu de 215 km² cité dans l'avant-projet). La longueur de l'oued est de 34 km avec une pente longitudinale de 4.6 % et un périmètre du bassin versant de 80 km (au lieu de 63km indiqué dans l'avant-projet du barrage). Le bassin versant est représenté dans les figures (fig. II.3). Dans ce bassin versant et les bassins voisins il existe 5 postes pluviométriques dont celui de Bordj-Ghobrini (côte 231) se situe en cours le plus inférieur. Étant donné que le bassin n'a qu'une superficie de 243 km², on constate d'après les documents, qu'en cas des pluies d'une durée assez longue, elles couvrent une grande superficie de sorte que presque les 5 postes pluviométriques sont à la fois arrosés, mais avec une différente intensité pour chaque poste des pluies. Les eaux pluviales ruissellent dans les différents affluents du bassin, confluent ensuite dans l'oued El-Hachem et se jettent dans la Méditerranée en passant par le poste de Bordj-Ghobrini. [10]

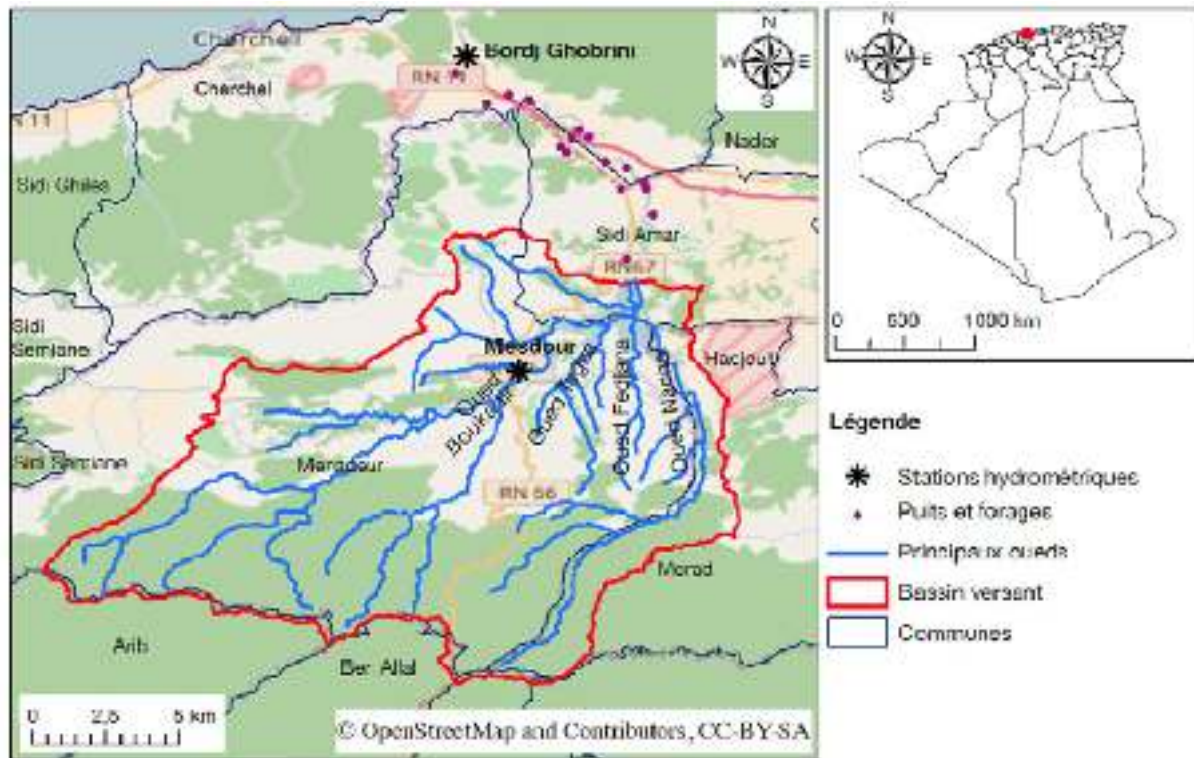


Fig.II.3. Bassin versant du barrage Boukourdane (ANRH).

II.3. Caractéristiques principales de barrage de Boukourdane

L'aménagement hydraulique est constitué de trois parties :

- Barrage.
- Système de prise d'eau.
- Evacuateur de crues.

II.3.1. Le barrage

Construit en terre et enrochements (fig.II.4), avec un noyau d'argile basé directement sur la roche de fondation, le barrage est fondé sur les alluvions au lit de l'oued. La galerie d'injection est encastrée dans la roche de fondation sous le barrage et mis en service en 1996.

- Hauteur max du barrage : 74.41 m (comptée d'après la hauteur du noyau).
- Longueur du barrage à la crête : 609.68 m.
- Largueur du barrage à la crête : 10 m.
- Largueur du barrage à la base : 367.62 m.

La capacité globale de la retenue est de 101.5 million m^3 et d'après le chef d'exploitation du barrage il n'a jamais dépassé les 70 million m^3 et son taux d'envasement annuel est de 0.21 hm^3/an . [11]



Fig.II.4. Barrage Boukourdane.

II.3.2. Système de prise d'eau

Le système de prise d'eau est composé de la tour de prise, de la vidange de fond et des conduites d'eau potable et agricole.

- Tour de prise d'eau puits de prise 2×3 m.
- Conduite d'eau potable en acier d'un diamètre 508 mm et d'une longueur de 633.7m avec un débit du 0.4 m^3/s .
- Conduite d'eau agricole en acier d'un diamètre 1625 mm et d'une longueur de 640.6m avec un débit du 5.6 m^3/s .

Galerie de dérivation et de vidange de fond d'une longueur totale de 292 m et d'une capacité d'évacuation de 150 m^3/s . [11]



Fig.II.5. Tour de prise d'eau du barrage (Photo prise pendant la sortie, avril 2018).

II.3.3. Evacuateur de crues

Le barrage est équipé d'un évacuateur de crue à un libre déversoir polygonal formant un hémicycle d'un rayon de 20 m, implanté en rive droite (fig.II.6).

- Largueur du radier du coursier : 119.5 m.
- Longueur de la passerelle piétonnière sur l'évacuateur : 34 m.
- Longueur projective de l'évacuateur de crues au plan : 248.5 m.
- Capacité d'évacuation d'eau : 1000 m³/s. [12]



Fig.II.6. Evacuateur de crue du barrage Boukourdane.

II.4. Contexte géologique, hydro climatologique

II.4.1. Contexte géologique

Les différentes formations géologiques fréquemment rencontrées sur la zone d'étude sont des roches sédimentaires très érodables, à l'origine de la grande sensibilité des sols de la région vis-à-vis du processus d'érosion. Il s'agit là essentiellement de schistes, marnes tendres et schisteuses et de calcaires.

Les formations géologiques au niveau de site du barrage sont divisées en trois groupes.

- Les roches ignées basiques et les produits de leur altération actuelle in situ.
- Les roches sédimentaires, tertiaires et les terrains d'altération qui s'y développent.
- Les dépôts quaternaires, alluvion de l'oued et déjection torrentielles.

Les principaux types de sols identifiés dans le bassin versant de l'oued El Hachem sont de types Leptosol lithique, Régosol calcaire et Cambisol. Les sols de type Leptosol lithique occupent les sommets des montagnes sur une superficie de 207 ha. Sur les glacis, les sols de type Calcisol sont caractérisés par la présence d'une croûte calcaire à moins de 30 cm de profondeur. Les Calcisols occupent une superficie de 1977 ha. Ils sont présents dans la plaine et sont caractérisés par la présence d'un encroustement calcaire à différentes profondeurs. Les Régosols sont des sols caillouteux peu profonds et faiblement structurés. Ils sont présents près des sommets des montagnes, les zones de pentes fortes et occupent une surface de 3 522 ha. Les Cambisols couvrent une surface de 6 250 ha. Ils sont localisés sur les collines et basses collines. Ce sont des sols moyennement profonds assez riches en argile, mais présentant une structure faiblement évoluée surtout en profondeur, ainsi que des cailloux et colluvions.

Sur le plan hydrologique il existe une aquifère alluvial qui correspond à la nappe de l'oued El Hachem avec un remplissage d'âge Plio-Quaternaire. La nappe est tantôt libre, tantôt semi-captive, sous un recouvrement d'argile ou de marne d'épaisseur variable ne dépassant pas les 20 m.

Toutes les études réalisées sur l'oued El Hachem montrent que la seule formation intéressante du point de vue hydrogéologique est représentée par le remplissage alluvionnaire du Quaternaire de la plaine. Ces dépôts du Quaternaire sont des galets, graviers, argiles sableuses, argiles rouges et limons de surface. [13], [14], [B]

II.4.2. Contexte hydro climatologique

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, et de ses caractéristiques est importante pour la compréhension de l'évolution des éléments chimiques et du comportement hydrologique des cours d'eau.[15]

Le climat du site est sous l'influence de la Méditerranée. L'année est divisée en deux saisons, la saison des pluies qui se caractérise par le froid et l'humidité et la saison sèche qui se caractérise par la chaleur et sécheresse. [10]

Dans notre cas le barrage Boukourdane est équipé d'une station météorologique (fig.II.7). Les données climatologiques sont prises quotidiennement par les techniciens du barrage. A partir des données climatologiques (pluviométrie et température) fournies par le service d'exploitation du barrage.



Fig.II.7. Station météorologique du barrage Boukourdane).

❖ Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères.

Les données pluviométriques recueillies auprès du service de barrage, la région d'étude reçoit la moyenne annuelle calculé pendant 12 ans sur une période (2005-2017) 687.2 mm (fig.II.8) cependant, la distribution de cette tranche est irrégulière comme l'indique le tableau. II.1. Le maximum entre novembre et Mars, Le minimum entre juin et août.

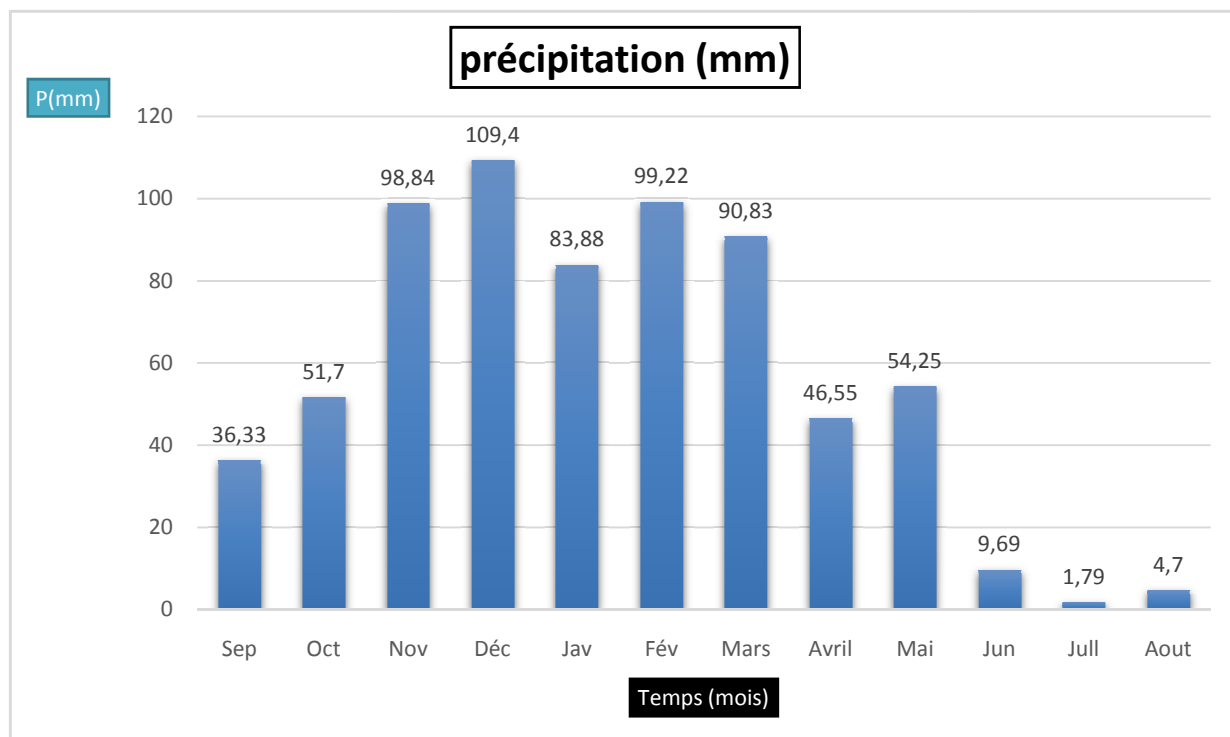


Fig.II.8. Répartition des précipitations moyennes mensuelles du barrage (2005 à 2017).

Au niveau du site de barrage, on distingue des précipitations élevées pendant l'hiver avec 292.5 mm soit 42.56% et les faibles valeurs sont enregistrées en été avec 16.2 mm soit 2.36% (tabl.II.1).

Tabl. II.1 Régime saisonnier du barrage Boukourdane (période 2005 à 2017).

Mois	P (mm)	saison	Précipitations saisonnières	
			mm	%
Septembre	36.33	Automne	186.87	27.2
Octobre	51.7			
Novembre	98.84			
Décembre	109.4	Hiver	292.5	42.56
Janvier	83.88			
Février	99.22			

Mars	90.83	Printemps	191.63	27.88
Avril	46.55			
Mai	54.25			
Juin	9.7	Eté	16.2	2.36
Juillet	1.8			
Août	4.7			
Total	687.2	–	687.2	100

❖ La température

Les températures moyennes mensuelles sont calculées par différentes méthodes.

Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode de la sommation des extrêmes et le calcul de leur moyenne arithmétique $((M+m)/2)$.

- M= Moyenne des températures maximales ;
- m= Moyenne des températures minimales ;

Les températures moyennes interannuelles enregistrées sur une période de 12 ans (2005-2017) dans la station de barrage Boukourdane, sont données dans le tabl.II.2.

Tabl.II.2. Températures mensuelles de la région de barrage (période 2005 à 2017).

T (°c) Mois	M	m	(M+m)/2
Septembre	24	19.6	21.8
Octobre	22.2	15.7	19
Novembre	16.5	11.5	14
Décembre	25.4	7.5	16.5

Janvier	12.8	7.5	10.2
Février	13.7	7.7	10.6
Mars	15.6	10.3	13
Avril	17.8	10.9	14.4
Mai	21.9	15	18.5
Juin	26.1	17.9	22
Juillet	26.7	21.9	24.3
Août	29	23.3	26.2
Total	251.7	168.8	210.5
Moyenne	21	14.1	17.54

Le tabl.II.2, montre que les températures mensuelles de notre zone de barrage atteignent leur minimum au mois de décembre et janvier, avec une valeur de 7.5°C. La valeur maximale est observée au mois d'Août avec une valeur de 29°C. La moyenne annuelle minimale est de 14.1°C et l'autre valeur maximale est de 21°C. Pour la moyenne annuelle arithmétique $((M+m)/2)$ est de 17.54°C.

❖ Humidité relative

Concernant l'humidité relative, le mois le plus humide est le mois de janvier avec 72,8%. Alors que le moins humide coïncide avec le mois de juin avec 60,2%. [16]

❖ Vents

La zone est exposée aux vents marins salés. Sinon les vents dominants soufflent du Nord Est et d'Ouest ; la vitesse moyenne est de l'ordre de 2,5 à 3 m/s. les vents du Nord sont généralement froids se produisent durant la quasi-totalité de l'année Quant aux vents du Sud « Sirocco », souvent chauds et secs qui soufflent en moyenne 13 jours par an (juillet, août). [16]

Chapitre III

Méthodologie

III.1. Objectif de l'étude

Nous avons effectué un stage pratique à la station de traitement de Sidi Amar. Ce stage s'est déroulé sur une période de deux mois entre février et mai de l'année universitaire 2017-2018, avec une périodicité de deux fois par semaine. Ce stage a été effectué dans le cadre d'une convention entre l'université de Blida 1 et la SEAAL durant la période de stage nous avons acquis une bonne expérience d'analyse des eaux.

Les travaux que nous avons réalisés au niveau de la station consistaient :

- Prélèvement des échantillons au niveau du barrage.
- Prélèvement des échantillons au niveau de la prise dans la station.
- Participation aux analyses des différents éléments chimique avec l'équipe au laboratoire.
- Vérification et traitement des données obtenue.

III.2. Description de système du prélèvement (barrage-station)

Afin de suivre la qualité des eaux de barrage de boukourdane, il existe une conduite gravitaire a été réalisé entre le barrage et laboratoire de la SEAA de Sidi Amar.

Afin de faire des prélèvements au niveau de barrage (prise d'eau), des réductions de diamètre sont installé au niveau de la conduite dont la largeur 1.2 km, le diamètre de départe a partir de barrage à 800 mm.

- 500 mm (la prise d'eau → la digue).
- 800mm (la digue → la station).
- A l'entrée de la station le diamètre est réduite jusqu'à 400 mm.



Fig.III.1. Conduite barrage station de l'eau brute (800→400 mm).

III.3. Fonctionnement de la station de traitement de Sidi Amar

La chaîne de traitement de l'eau comprend les ouvrages suivants :

1. La cascade d'aération
2. La clarification (Floculation, Coagulation, décantation lamellaire)
3. La filtration (filtres à sable)
4. La désinfection (chloration)
5. La distribution (réseau d'alimentation)

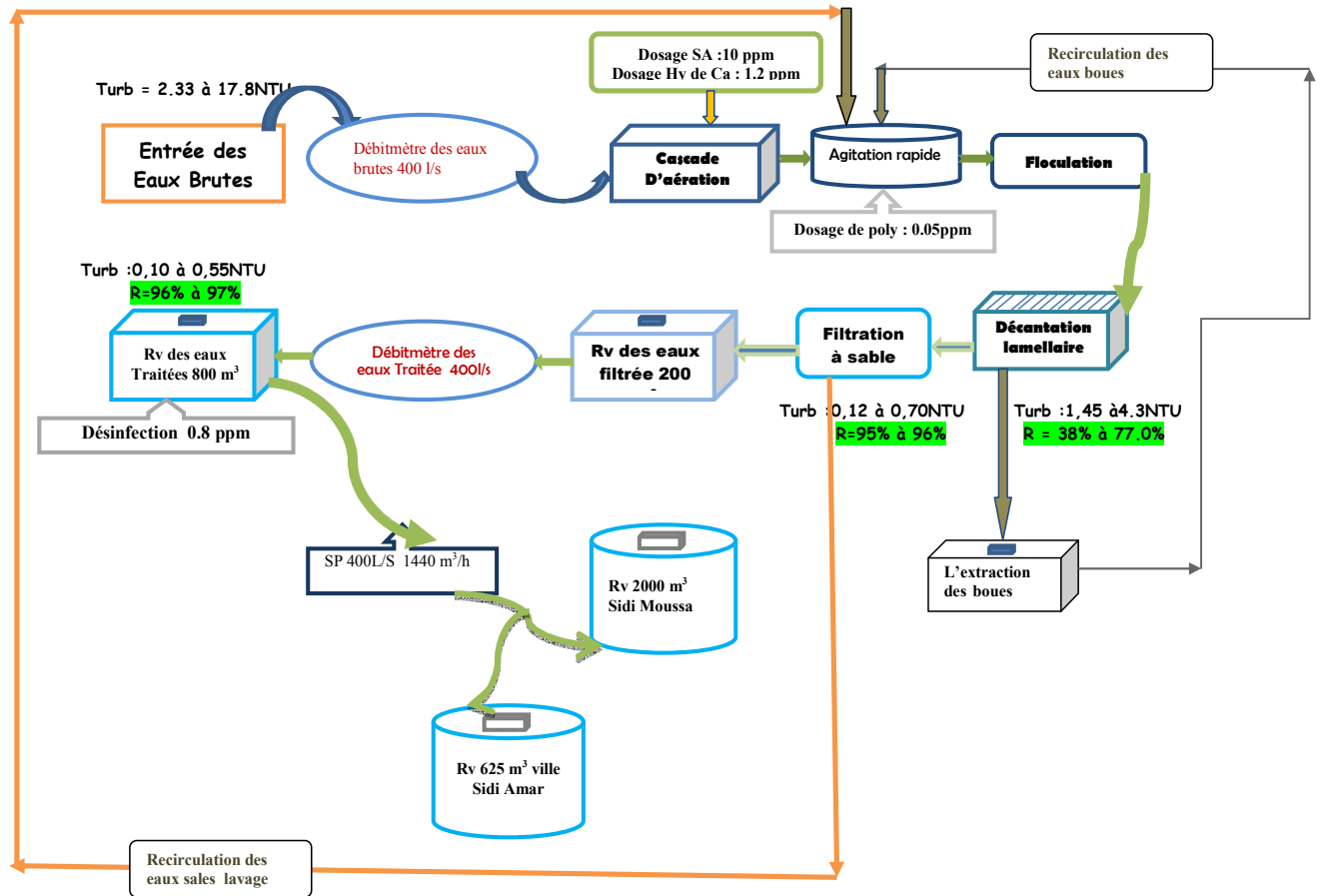


Fig.III.2. Fonctionnement de la station.

Produits Chimiques utilise de l'usine :

- Hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ – hypochlorite de sodium NaClO
- Sulfate d'alumine en poudre ou liquide $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
- Poly électrolyte anionique
- Permanganate de potassium KMnO_4
- Charbon Actifs
- Acide sulfurique

Les étapes du traitement de l'eau potable

1. La cascade d'aération :

Cette première étape du prétraitement consiste au captage de l'eau brute par une prise d'eau qui est installée dans le barrage de boukourdane puis son acheminement par une conduite vers un bassin munie d'une cascade pour l'oxygénation de l'eau brute et l'élimination (Fe, Mn). En suite l'injection du chlore (Hypochlorite de Ca ou Na) comme pré- chloration pour l'oxydation et Sulfate d'alumine pour avoir la Coagulation Floculation



Fig.III.3. Cascade d'aération.

➤ Dimension de la cascade :

Réservoir 75 m³

Longueur : 5m

Largeur : 3.70 m

Nombre d'étages : 4

2. La clarification (Floculation, Coagulation, décantation lamellaire) :

Coagulation-Floculation :

Pour se débarrasser des matières légères qui sont demeurées en suspension, telles que les microorganismes, on procède au traitement chimique qui suit :

Un mélangeur rapide et un flocculateur à vitesse réglable agite l'eau combinée à un coagulant (sulfate d'alumine).

Les particules qui adhèrent les unes aux autres forment des « flocs » (la floculation). Lorsque le floc est ainsi formé, l'eau poursuit sa route dans les décanteurs. Une agitation inefficace peut entraîner une surconsommation de produits et une faible agrégation des particules. De plus, une agitation trop élevée brisera les flocs.

C'est grâce au coagulant qu'il y a agglomération (coagulation) des fines matières en suspension. L'eau est par la suite acheminée vers le décanteur. C'est alors que tous les flocons coagulés sont poussés vers le bas du décanteur.

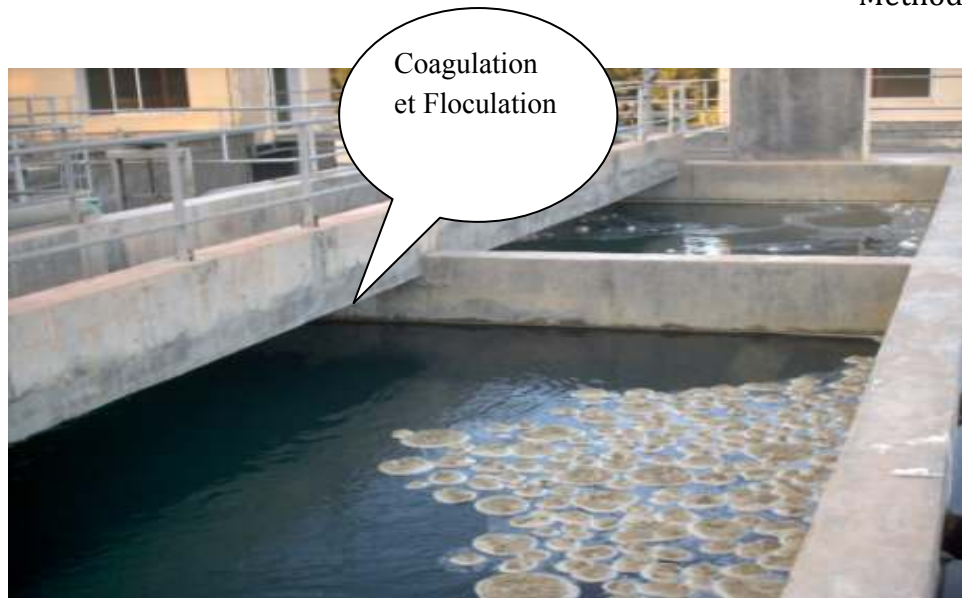


Fig.III.4. Bassin de Coagulation et Flocculation.

- Dimension de bassin de flocculation :
 - Longueur : 7.40m
 - Larguer : 5.40m
 - Hauteur d'eau : 3.25m
 - Nombre bassin : 4
- Caractéristique du bassin du mélangeur rapide :

Longueur : 2m
 Largeur : 1.70m
 Hauteur d'eau : 3.28m
 Volume : 11m³
 Vitesse de rotation : 700 tr/min
 Nombre bassin : 2



Fig.III.5. Bassin de mélangeur rapide.

Décantation Lamellaire :

C'est la phase au cours de laquelle les gros agglomérats sont séparés de l'eau traitée. L'abattement de la turbidité peut atteindre une valeur de 90 % dans les conditions idéales. Les agglomérats retenus dans les lames se font éliminer par l'extraction des boues (pour l'évacuation des boues).

Dimensionnements

Longueur : 13.33 m

Largueur : 7.45 m

Hauteur d'eau avec poche de boue :
5.34m

Nombre de rangées de plaques PVC: 8

Nombre de plaques/rangées : 187

Nombre poches de boues : 30

Nombre de décanteur : 08

**Fig.III.6.** Bassin de décantation.**3. La filtration (filtres à sable)**

Arrivé à ce stade, l'eau qui est encore un peu trouble par la présence de matières en suspension est filtrée par son passage à travers des couches de matériaux divers.

Ces filtres ont pour but de retenir les fine particules qui ne se sont pas déposées lors de l'étape de la décantation. On obtient alors une eau limpide. L'eau est maintenant prête pour l'étape suivante : la désinfection.

Afin de déloger les particules qui sont demeurées prisonnières dans le lit, un lavage des filtres s'effectue à contre-courant en envoyant un débit d'eau de bas en haut.

L'opération de lavage est composée de la phase suivante :

- Abaissement du plan d'eau
- Dé colmatage à l'air
- Lavage air +eau
- Dégazage
- Lavage eau

Dimension du filtre à sable :

Longueur : 7m

Largueur : 4m

Vitesse de filtration 6.4 m/h

Nombres de buses/m² : 64

Hauteur matériel filtrant : 1.4m



Fig.III.7. Bassin de filtration.

4. La désinfection (chloration)

Les eaux à traiter contiennent beaucoup de matières organiques ou encore de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse. L'oxydation est donc nécessaire.

On utilise pour cela le chlore sous forme d'hypochlorite de sodium ou de calcium (eau de javel). Le chlore possède de remarquables propriétés désinfectantes et est également un oxydant puissant. Il est moins coûteux et d'un emploi plus simple. Son effet est, en outre, plus durable.

Le chlore est utilisé à deux reprises au cours du processus de traitement de l'eau. Il permet d'éliminer plus facilement les substances nuisibles au cours des étapes dites de clarification et distribution.

Un premier point d'injection, que l'on nomme « pré-chloration », est effectué juste à l'entrée de l'eau brute au niveau de la cascade. Un deuxième point d'injection, que l'on nomme désinfection (pour la sécurité sur le réseau). Le taux de chlore à la sortie est de 1 mg/l.



Fig.III.8. Réservoir de désinfection.

5. La distribution (réseau d'alimentation)

Finalement, l'eau apte à la consommation sera stockée dans un réservoir de 800 mètres cube dans le but de satisfaire à la demande.

La teneur en chlore résiduel dans l'eau distribuée est en général de 0,1 à 0,2 mg par litre, ce qui correspond à 1 à 2 gouttes de chlore pour 1 litre d'eau.

Il est important que ce traitement persiste dans tout le réseau afin qu'aucune bactérie ne puisse se développer dans les canalisations où l'eau peut séjourner plusieurs jours. Donc, pour conserver une bonne qualité d'eau du point de distribution jusqu'au consommateur, il est nécessaire de s'assurer qu'il y ait une concentration suffisante de chlore résiduel.

À ce stade-ci, une petite quantité de chlore résiduaire permettra d'assurer une protection de l'eau contre les contaminants dans la réserve et sur le réseau. [17]

III.4. Matériel et méthodes d'analyse

Les analyses des eaux effectuées au laboratoire concernant toutes les étapes du traitement, comme l'eau brute, l'eau décantée, l'eau filtrée et l'eau distribuée.

Les différents prélèvements se font de la manière suivante :

Eaux brutes :

- Au niveau du barrage.



Fig.III.9. Prélèvement au niveau du barrage.(Photo prise, avril 2018).

- Au niveau de robinet qui existe avant la cascade.



Fig.III.10. Robinet de l'eau brute.

Eaux traitées : au niveau de robinet de laboratoire.



Fig.III.11. Prélèvement au niveau de Robinet de laboratoire.

(Photo prise, avril 2018).

III.4.1. Analyse physico-chimique

✚ la turbidité :

✚ mesure de la turbidité :

Selon le manuel d'instruction du fournisseur de l'appareil et la **norme NA 746**



Fig.III.12. Turbidimètre.

✚ Principe

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau, qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présente dans l'échantillon.

✚ Mode opératoire

- L'échantillon doit être remis à température ambiante et être homogénéisé doucement avant la mesure.
- La cuve de mesure doit être propre et assurée à chaque utilisation, elle doit être rincée ; avec l'échantillon à analyser avant mesure.
- Après remplir la cuve avec l'échantillon à analyser, bien homogénéisé et bien essuyer avec du papier hygiénique.
- Insérer la cuve dans le puits de mesure en plaçant la flèche de la cuve face au repère
- Fermer le capot de l'appareil et attendre l'affichage automatique d'une valeur. si la valeur n'apparaît pas au bout de quelques secondes, appuyer sur entrer.
- Effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence des bulles d'air avant chaque mesure.

L'affichage indique des résultats exprimés en unité (NTU).

✚ Potentiel hydrogène «pH» :

✚ Mesure du pH par la méthode potentiométrique

Ce protocole opératoire décrit la méthode de mesurage de l'activité des ions hydrogène dans une solution ; selon **la norme ISO 10523**.



Fig.III.13. pH-mètre.

✚ Principe

La détermination de la valeur du pH est basée sur le mesurage de la différence de potentiel d'une cellule électrochimique à l'aide du pH-mètre. Le pH d'un échantillon dépend également de la température en raison de l'équilibre de dissociation.

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre ou en plastique, la durée de conservation est de 24 heures.

✚ Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode du pH mètre dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec faible vitesse d'agitation.
 - Puis noter le pH.

La valeur du pH est exprimée à deux décimaux près

✚ Conductivité :

✚ mesure de la conductivité :

Ce protocole opératoire décrit la méthode de mesure de la conductivité en utilisant un conductimètre électrique METTLER TOLEDO Seven Easy. Selon **la norme ISO 7888**.



Fig.III.14. Conductivimètre.

✚ Principe :

Détermination directe à l'aide d'un conductimètre. La conductivité électrique découle de la mesure du courant conduit par les ions présent dans l'eau et dépend :

- De la concentration des ions ;
- De la nature des ions ;

- De la température de la solution ;
- De la viscosité de la solution.

Mode opératoire :

- Introduire l'électrode du conductimètre dans l'eau distillée.
- Si l'appareil n'est pas étalonné, effectuer l'étalonnage en choisissant une solution d'étalonnage la plus proche de domaine de mesure.
- Laisser l'appareil se stabilisé à $0\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Tremper l'électrode du conductimètre dans le bécher.
- Les résultats sont lus directement sur l'écran du conductimètre.
- L'électrode doit être rincée abondamment avec l'eau distillée après chaque mesure.

Le résultat est exprimé directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C

Détermination de la TDS :

Elle a été déterminée au laboratoire à l'aide d'une électrode incorporé au conductimètre étalonné. On lit directement la TDS exprimée en mg/l.

Température :

mesure de la température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels est impliquée dans la conductivité électrique ainsi la détermination du pH ...etc.

Principe

La température est mesurée par un thermomètre.

Mode opératoire :

- Plonge le thermomètre dans l'échantillon et laisser se stabiliser puis noter la valeur de la température.

L'appareil donne la valeur de la température en degré Celsius ($^\circ\text{C}$).

III.4.2. Analyse des paramètres de minéralisation

❖ Calcium

✚ Dosage du calcium

Ce protocole d'opérateur a pour objet la détermination du dosage de calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA. Selon la norme **ISO 6058 NA 1655**.



Fig.III.15. Dosage (Ca^{2+}).

✚ Principe

Titration des ions calcium avec solution aqueuse de l'EDTA. L'indicateur utilisé est le murexide qui forme un complexe rose avec le calcium.

✚ Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon
- Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de 2 N
- Une pincée d'indicateur (murexide)

✚ Expression des résultats :

$$[\text{Ca}^{2+}] = V_1 * 8,0169 * Fc$$

$[\text{Ca}^{2+}]$: la teneur en calcium exprimé en mg/l

Fc : facteur de correction du titre

$$[(C1 * A)/V_0] * 1000 = 8,0169$$

C1 : Concentration de la solution EDTA (0,01 mol/l)

A : C'est la masse molaire de calcium (40,08 g/l)

V₀ : C'est le volume en millilitres de prise d'essai (50 ml)

❖ **magnésium**✚ **Dosage de magnésium**

Ce protocole d'opérateur décrit la méthode de détermination de la somme des concentrations en calcium et magnésium d'une eau. **Selon la norme ISO 6059 NA 752, 1989**



Fig.III.16. Titrage (Mg^{2+}).

✚ **Principe**

Titration par complexométrie du calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel de sodium d'acide éthylène diamine tétra acétique à un pH 10, lors du titrage de l'EDTA réagit d'abord avec les ions calcium et magnésium libres, puis au point d'équivalence, avec les ions calcium et magnésium combinés à l'indicateur ce qui libère l'indicateur et provoque un changement de couleur.

✚ **Mode opératoire**

- Prélever 50 ml de l'échantillon
- Ajouter 4 ml de solution tampon
- Puis une pincée de l'indicateur (eriochrome noir), jusqu'à ce que la prise d'essai se colore en violet
- Titrer immédiatement par l'EDTA, jusqu'au virage bleu.

✚ Expression des résultats :

La concentration totale en ions calcium et magnésium, le TH exprimée en °F, est donnée par la formule :

$$\text{TH} = V_2 \cdot 2 \cdot F_c \cdot F \dots (\text{°F})$$

La concentration totale en ions magnésium, exprimée en mg/l la plus proche, est donnée

$$[\text{Mg}^{+2}] = [(C_1 \cdot (V_2 - V_1) \cdot A') \cdot F_c \cdot 1000 \cdot F \dots (\text{mg/l})]$$

❖ Chlorure :

✚ Détermination des chlorures

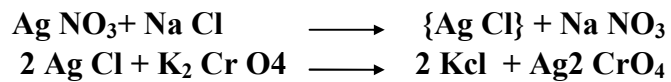
Ce protocole opératoire décrit la méthode titrimétrique, le dosage des chlorures est réalisé par le titrage au nitrate d'argent (AgNO_3) en utilisant du chromate de potassium comme indicateur, selon la norme **ISO 9297 : 1989**



Fig.III.17. Titrage (Cl⁻).

✚ Principe

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.



✚ Mode opératoire :

- Prendre 5 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre).
- Titrer avec Ag NO_3 à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.
- Effectuer les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470 nm en réglant le 0.

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l.

❖ Bicarbonates :

✚ Dosage de bicarbonate :



Fig.III.18. Titrage (HCO_3^-).

✚ Principe :

Détermination des volumes successif d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux $\text{pH} = 8.3$ et 4.3 , le volume d'eau à analyser. Les bicarbonates n'existent qu'à pH compris entre 4.4 et 8.3

Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'eau à analyser
- Noter son pH.
- puis titrer avec HCl à 0,1 N jusqu'à obtention d'un pH de 4,3.

Expression des résultats :

$$\text{HCO}_3^- \text{ mg/l} = (V \times N \times 1000) / \text{PE}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ mg/l} = \text{HCO}_3^- \text{ mg/l} \times 61$$

❖ Carbonates et Bicarbonate

L'utilisation de la méthode potentiométrique pour le dosage des carbonates, bicarbonates et les OH offre de nombreux avantages. Elle évite toute erreur d'estimation particulière aux méthodes utilisant des indicateurs colorés. En outre elle est particulièrement intéressante dans le cas d'eaux troubles ou colorées.

Les carbonates n'existent qu'à pH > 8,3 et les bicarbonates si le pH est compris entre 4,4 et 8,3. Le mode opératoire est :

- **Si pH > 8,3** : Ajouter à la burette H₂SO₄ à 0,01N goutte à goutte et arrêter quand le pH/mètre indique pH= 8,3 ; noter le volume d'acide sulfurique V₁ (ml) versé.
- **Si pH est compris entre 4,4 et 8,8** : Ajouter à la burette H₂SO₄ à 0,01N jusqu'à obtenir pH = 4.4 ; noter le volume d'acide V₂ (ml) versé.

Si V₂ < 5ml prendre 40ml de PE

Si V₂ > 10ml prendre 10ml de PE

Calcul

1. Si pH > 8,3

V₂ > 2V₁ : il y a des bicarbonates dans l'échantillon ce qui implique une teneur négligeable en OH⁻ : OH⁻ = 0

V₂ < 2V₁ : il y a des OH⁻ dans l'échantillon donc une teneur en bicarbonates négligeable.

$$\text{HCO}_3^- = 0$$

2. Si pH est compris entre 4,4 et 8,3 : Il n'y a ni carbonates ni OH⁻ dans l'échantillon.

L'expression des résultats :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

❖ **Titre alcalimétrique complet.**📌 **Principe :**

Détermination des concentrations en ions bicarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-) par mesure de l'acide chlorhydrique nécessaire pour amener à pH 8,3 et 4,5 l'échantillon à analyser.

La première détermination (pH= 8,3) sert à calculer le titre alcalimétrie simple TA et la seconde (pH= 4,5) sert à calculer le TAC.

📌 **Mode opératoire :**

- Prendre 100 ml de l'échantillon à analyse et mesure le pH.
- Si le pH est supérieur à 8.3 versé lentement de l'acide chlorhydrique 0.01 N pour obtenir 8.3.
- Note le volume V_1 (ml) l'acide lu au doucement.
- Continuer à verser doucement de l'acide chlorhydrique 0.01 N jusqu'à obtenir un pH de 4.5.
- Note le volume V_2 (ml) d'acide versé pour amener le pH à 4,5.
- Si le pH est inférieur à 8.3 verser lentement l'acide chlorhydrique 0.01 N pour obtenir 4,5.
- Note le volume V_2 (ml) l'acide lu au doucement.

📌 **Expression des résultats :**

Le titre alcalimétrique TA et le titre alcalimétrique complet TAC sont exprimés en °f et sont donnés respectivement par des expressions suivantes :

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{(V_1 * N * 1000) M_1}{V} \text{ (mg/L)} \quad [\text{HCO}_3^-] = \frac{(V_2 * N * 1000) M_2}{V} \text{ (mg/L)}$$

$$\text{TA} = V_1 \times 10 \text{ (°f)}$$

$$\text{TAC} = V_2 \times 5 \text{ (°f)}$$

M_1 : masse molaire des carbonates 60g.

M_2 : masse molaire des bicarbonates 61g.

V : volume de prise d'essai (100ml).

V_1 : volume d'acide chlorhydrique lu au doucement pour amener le Ph à 8.3.

V_2 : volume totale d'acide chlorhydrique en (ml) lu au doucement.

N : Normalité de la solution acide.

❖ Sulfate

✚ mesure de sulfate

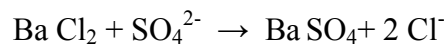
Ce protocole est applicable sur tout type d'eau. Selon **Rodier 2009**



Fig.III.19. Détermination de (SO_4^{2-}) .

✚ Principe :

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum En présence de $Ba Cl_2$.



✚ Mode opératoire :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Passer au spectrophotomètre $\lambda = 420 \text{ nm}$.

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l.

III.4.3. Analyse des paramètres de pollution

❖ Nitrate :

✚ Principe :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

✚ Mode opératoire :

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Verser une goutte de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec à l'étuve 75 - 88° C environ 2 heures puis laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 2 ml de d'acide sulfurique H₂SO₄ laissé reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double K1 de sodium et de potassium puis passer au Spectrophotomètre au 415 nm.

Le résultat est donné directement en mg/l de nitrate.

❖ Nitrite :

✚ Dosage de nitrite :

Ce protocole spécifie une méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire pour le dosage des nitrites dans les eaux potable **Norme ISO 6777**.

✚ Principe

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, à pH 1.9 avec le réactif amino-4 benzène sulfanilamide en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlor-hydrate de N-(Naphthyl-1) diamine-1,2 éthane mesurage de l'absorbance à 540 nm.

✚ Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif coloré (NO₂⁻)
- Attendre 20mn.
*L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂⁻.
- Effectuer la mesure colorimétrique à 543 nm.

✚ Expression des résultats

La concentration en nitrite est exprimée en mg/l.

❖ **CO₂ libre**✚ **Dosage de CO₂ libre**

Ce protocole d'opérateur a pour objet la détermination du dosage de carbone par la méthode titrimétrique à l'acide chlorhydrique. Selon la norme **NF T 90-011**.

✚ **Principe**

L'eau est recueillie sur une quantité d'hydroxyde de sodium légèrement supérieure à celle qui est nécessaire pour neutraliser le carbone libre, l'hydroxyde de sodium en excès et ensuite dosé. En présence de phénophtaléine par une solution titrée d'acide chlorhydrique.

✚ **Mode opératoire**

- Prendre fiole jaugé de 200 ml.
- Prendre 30ml d'hydroxyde de sodium N/40.
- Ajouter 6 à 8 goutte de solution de phénophtaléine.
- Compléter avec la prise d'essai (l'eau distillé, l'eau brute, l'eau traité) jusqu'à trait de jaugé.
- Fermer la fiole avec un bouchon en caoutchouc bien propre (la solution devient rose)
- Poser la fiole sur l'agitateur (agitation lente).
- Titrer en utilise une burette remplie avec la solution acide chlorhydrique jusqu'à disparition de la couleur rose.
- Noter le volume de l'acide chlorhydrique consommé.



Fig.III.20. Titrage (CO₂).

Donc pour déterminé ces analyses nous avons utilisé deux techniques de dosages :

➤ 1^{er} technique : la titrimétrie pour (Ca, Mg, HCO₃, TAC, CO₂)

La titrimétrie ou titrage est une technique de dosage utilisée en chimie analytique afin de déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution (ou titre d'une solution).

La méthode de titrage la plus utilisée est le titrage volumétrique. Elle consiste à utiliser une solution de concentration volumique connue (appelée titrant) afin de neutraliser une espèce contenue dans la solution inconnue (appelée analyte ou espèce titrée). Selon la quantité mesurée du réactif titrant.

➤ 2^{eme} technique : par spectrophotomètre (SO₄, NO₃, NO₂)

Spectrophotomètre DR 6000 est un appareil de type UV-VIS présentant une plage de longueurs d'onde comprise entre 1100nm. Le spectre visible (320 à 1100nm) est couvert par lampe halogène et une lampe au deutérium produit la lumière comprise dans le spectre ultraviolet (190 à 360nm). L'instrument est livré avec une série complète de programme et prend en charge plusieurs langues.

Le spectrophotomètre DR 6000 comporte les programmes et modes de fonctionnement suivant :

- Programme enregistrés (tests préinstallés)
- Programme codes-barres
- Programme utilisateur
- Favoris
- Longueur d'onde unique
- Longueur d'onde multi
- Balayage de longueur d'onde
- Plage de temps

Le spectrophotomètre DR 6000 fournit des lectures numériques de concentration, d'absorption et de pourcentage de transmission.

Lorsqu'une méthode générée par l'utilisateur ou préprogrammée est sélectionnée, les menus et messages qui s'affichent à l'écran dirigent l'utilisateur tout au long du test.

Ce système de mesure peut également créer des rapports, des évaluations statistique des courbes d'étalonnage générées, et établir un rapport sur les contrôles diagnostics de l'instrument.

III.5. Présentation des analyses

➤ Les eaux brutes

Tabl.III.1. Analyse des eaux brutes.

	les mois	T° (C°)	pH	Tu (NTU)	σ (μS/Cm)	TDS (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	TAC (mg/l)
2015	Janvier	13,20	8,13	5,33	793,00	475,80	72,00	31,00	83,66	121,00	237,90	19,50
	Février	12,00	8,17	6,45	789,00	473,40	64,13	38,40	86,50	144,00	183,00	15,00
	Mars	12,99	8,18	7,30	805,00	483,00	72,15	36,00	77,90	160,00	231,80	19,00
	Avril	15,05	8,03	10,67	799,00	479,40	72,15	43,20	86,50	160,00	201,30	16,50
	Mai	16,86	7,91	7,57	795,00	477,00	72,15	31,20	70,90	147,00	201,30	16,50
	Juin	18,65	7,89	5,57	810,00	486,00	72,00	33,60	86,50	139,20	219,00	18,00
	juillet	21,98	7,76	3,01	841,00	504,60	72,15	43,20	71,50	90,20	237,90	20,50
	Août	23,61	7,75	2,28	839,00	503,40	72,00	31,20	90,75	104,81	201,30	16,50
	Septembre	24,79	7,86	5,50	833,00	499,80			90,75	80,40		
	Octobre	22,64	8,03	9,16	824,80	494,88	68,14	36,00	86,15	128,70	213,50	18,50
	Novembre	19,36	8,17	5,21	830,00	498,00	51,80	39,20	86,70	137,00	178,00	14,60
2016	Janvier	14,50	8,12	5,78	869,00	521,40	52,00	38,40	75,06	118,05	195,20	16,00
	Février	14,37	8,16	5,91	876,00	525,60	42,00	24,35	99,20	110,05	213,50	17,50
	Mars	13,74	8,15	12,43	864,00	518,40	72,00	28,80	83,11	112,03	195,20	16,00
	Avril	15,23	8,08	15,96	858,00	514,80	46,80	24,30	107,70	118,05	195,20	16,00
	Mai	16,40	8,05	8,07	836,00	501,60	68,00	40,00	99,27	108,50	176,90	14,50
	Juin	18,53	8,00	6,19	830,00	498,00	41,30	33,20	99,20	113,35	181,70	14,85
	juillet	20,20	7,98	2,79	820,00	492,00	50,40	48,70	107,70	157,25	195,20	16,00
	Aout	20,20	7,98	2,79	820,00	492,00	50,40	48,70	107,70	157,25	195,20	16,00
	Septembre	24,82	7,90	4,89	800,00	480,00	60,00	38,40	70,10	124,50	140,30	11,50
	Octobre	23,90	8,10	5,34	813,00	487,80	64,00	36,00	86,50	130,40	183,00	15,00
	Novembre	19,98	8,11	5,87	817,00	490,20	68,40	39,60	96,80	164,60	176,90	14,50
	Décembre	16,74	7,95	9,14	800,00	480,00	72,00	28,80	107,06	186,65	198,40	16,00
2017	Janvier	13,78	8,06	6,91	751	450,60	60,4	40,3	93,6	155,2	186	15
	Février	13,68	8,16	5,98	714	428,40	60	28,8	86,5	148,3	183	15
	Mars	15,72	8,21	4,11	723	433,80	72	31,2	90,05	143,5	209,23	17,15
	Avril	18,08	8,34	5,91	712	427,20	60	40,8	86	152,3	201,3	16,5
	Mai	20,9	8,39	5,64	707	424,20	60	36	67,36	148,7	213,5	17,5
	Juin	25,83	8,4	4,77	700	420,00	60	36	102	147,5	207,3	17
	juillet	20,68	7,84	3,46	717	430,20	56	36	75,86	121,1	140,3	11,5
	Août	21,5	7,74	3,48	721	432,60	60	33,6	99,4	150	207,3	17
	Septembre	24,29	7,91	4,69	729	437,40	60	33,6	90,6	146,25	195,2	16
	Octobre	23,35	8,15	5,61	744	446,40	51,4	39,4	94,8	153,5	146,4	12
	Novembre	18,24	8,25	6,02	750	450,00	52	33,6	86,5	120,9		
	Décembre	14,2	8,11	6,7	762	457,20	62	29,76	97,14	125,5	189,1	15,5
2018	Janvier	13,64	8,17	6,08	787	472,20	51,9	32,6	78,1	111,3	183	15
	Février	12,4	8,3	6,83	808	484,80	68	31,2	85,79	133,3	189,1	15,5
	Mars	14,31	8,33	5,32	817	490,20	52	33,6	77,4	153,5	183	15
	Avril	15,57	8,29	12,08	809	485,40	60	36	73,74	159,2	198,5	14,5
	Mai	16,67	8,19	7,26	740	444	44	33,6	70,9	41,5	198,8	16

➤ Les eaux traitées

Tabl.III.2. Analyse des eaux traitées.

	les mois	T° (C°)	pH	Tu (NTU)	σ (μS/Cm)	TDS (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	TAC (mg/l)
2015	Janvier	13,49	8,00	0,40	803,00	481,80	86,00	38,00	80,12	137,00	201,30	16,50
	Février	12,55	7,94	0,45	793,00	475,80	72,15	48,00	89,34	164,00	195,20	16,00
	Mars	13,54	7,94	0,53	814,00	488,40	80,16	45,60	80,80	172,00	207,40	17,00
	Avril	15,43	7,82	0,58	808,00	484,80	80,16	40,80	89,34	175,00	213,50	17,50
	Mai	17,35	7,75	0,45	801,00	480,60	80,16	33,60	99,26	156,95	213,50	17,50
	Juin	19,28	7,77	0,29	790,00	474,00	80,00	36,00	89,35	168,10	231,00	19,00
	juillet	22,75	7,70	0,25	848,00	508,80	96,20	33,60	78,10	98,70	183,00	19,00
	Août	24,15	7,67	0,27	846,00	507,60	84,00	43,20	93,59	123,19	219,60	18,00
	Septembre	25,00	7,73	0,35	839,00	503,40			97,02	90,80		
	Octobre	23,10	7,84	0,39	832,00	499,20	72,00	38,00	96,00	142,00	226,00	18,00
	Novembre	19,77	7,97	0,50	837,00	502,20	56,70	41,50	93,60	102,05	173,00	14,20
	2016	Janvier	14,74	7,93	0,28	872,00	523,20	60,00	36,00	83,10	153,15	207,00
Février		14,55	7,97	0,33	884,00	530,40	44,00	24,40	106,40	149,10	195,00	16,30
Mars		14,07	7,96	0,40	874,00	524,40	80,00	26,60	95,10	144,20	207,00	17,00
Avril		15,46	7,89	0,50	868,00	520,80	58,40	23,10	114,80	153,15	183,00	15,00
Mai		16,68	7,87	0,42	846,00	507,60	76,00	39,60	106,40	140,60	171,00	14,00
Juin		18,85	7,81	0,29	836,00	501,60	49,40	31,90	107,30	118,75	169,00	
juillet		20,93	7,81	0,26	827,00	496,20	55,20	49,80	114,80	174,85	183,00	15,00
Aout		20,93	7,81	0,26	827,00	496,20	55,20	49,80	114,80	174,85	183,00	15,00
Septembre		25,36	7,75	0,40	807,00	484,20	72,00	43,20		136,40	165,00	13,50
Octobre		24,29	7,87	0,43	821,00	492,60	76,00	40,80	92,17	154,20	195,00	16,00
Novembre		20,35	7,87	0,34	826,00	495,60	51,20	40,70	102,80	154,85	183,00	15,00
Décembre		17,10	7,73	0,39	813,00	487,80	82,00	38,40	113,40	161,80	192,00	15,75
2017	Janvier	14,09	7,83	0,45	756	453,60	64,2	41,2	96	173,4	199	16
	Février	13,95	7,89	0,63	729	437,40	76	26,4	92,2	161,5	195	16
	Mars	15,99	7,92	0,64	741	444,60	84	40,8	89	170,25	200	16,38
	Avril	18,19	8,01	0,79	717	430,20	72	52,8	96	161,6	195,2	16
	Mai	21,22	8,18	0,83	713	427,80	72	40,8	69	164,2	183	15,5
	Juin	26,07	8,22	0,79	706	423,60	72	38,4	109	116,45	183	15
	juillet	22,73	7,81	0,65	723	433,80	64	40,8	104	137,95	146,4	12
	Août	22,07	7,78	0,62	727	436,20	68	36	110,5	160	195	16
	Septembre	24,48	7,87	0,66	735	441,00	72	38,4	105,3	152,35	189,1	15,5
	Octobre	23,5	7,99	0,77	752	451,20	68,3	41,6	110,3	162,35	152,5	13,75
	Novembre	18,58	8,11	0,86	756	453,60	64	33,6	88,63	118,7	0	
	Décembre	14,4	7,96	0,68	769	461,40	77	41,5	106,35	148,9	207,4	17
2018	Janvier	13,36	8,02	0,64	793	475,8	67,5	43,2	92,3	122,8	195,2	16
	Février	12,54	8,1	0,66	813	487,80	72	36	88,63	162,3	201,3	16,5
	Mars	14,36	8,13	0,63	821	492,60	74	36	83,2	181	195	16
	Avril	15,7	8,09	0,86	815	489	64	45,6	77,99	170,2	220	15
	Mai	16,77	8,08	0,73	744	446,4	60	31,2	77,2	52	250,9	17

Tabl.III.3. Résultat de Nitrite (année 2018).

	Eau brute	Eau traité
Février	0.04	<0.02
Mars	0.03	<0.02
Avril	0.1	<0.02
Mail	0.02	<0.02

Tabl.III.4. Résultat de Nitrate (année 2018).

	Eau brute	Eau traité
Février	0.27	<0.5
Mars	1.82	<0.5
Avril	0.85	<0.5
Mail	0.5	<0.5

Chapitre IV

Discussion des résultats obtenus

Introduction

Afin d'interpréter et discuter les résultats obtenus, nous avons examinés la variation temporelle de l'ensemble des éléments chimiques à l'échelle saisonnier et annuel d'une part et d'autre part les relations entre les éléments chimiques, et aussi la variation des éléments de système calo-carbonique à l'échelle des eaux du barrage. Ceci nous permettra de voir l'origine des éléments chimiques, ainsi que la minéralisation et donc avoir une idée sur la stationnarité de la qualité chimique des eaux du barrage.

IV.1.Variation saisonnière des éléments chimiques

Nous avons reportés sur les figures ci-dessous. La variation temporelle des paramètres physico-chimiques aussi bien pour les eaux brutes que pour les eaux traités.

- Variation de la conductivité, TDS et turbidité.

Les eaux brutes :

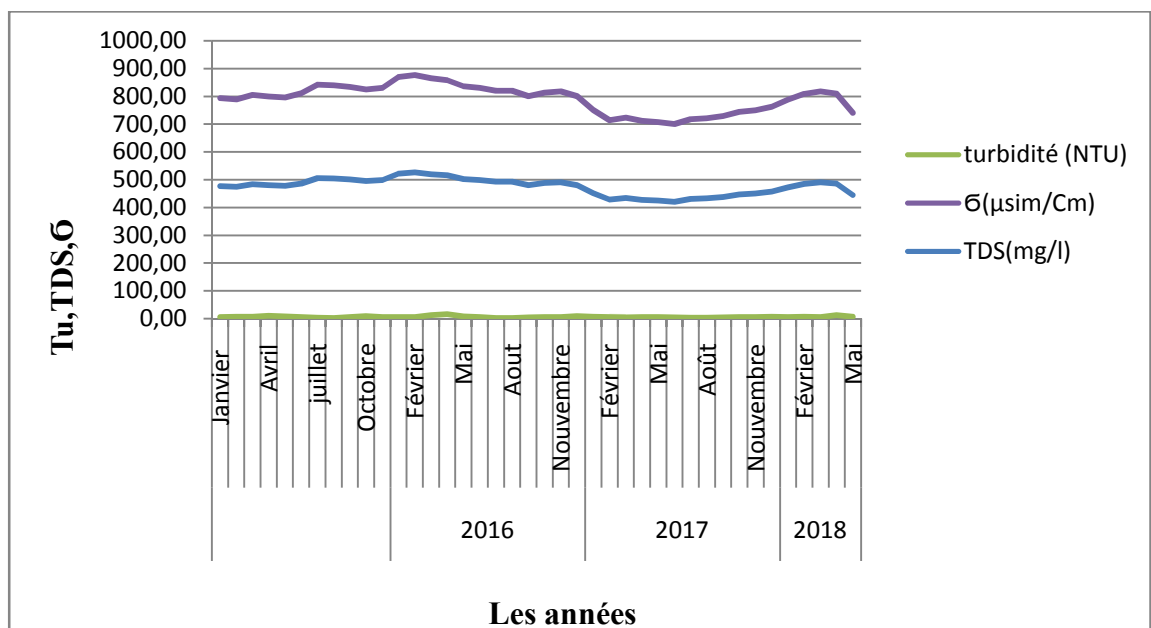


Fig.IV.1. Evolution temporelle de la turbidité, conductivité, TDS des eaux brutes du barrage Boukourdane.

Les eaux traitées :

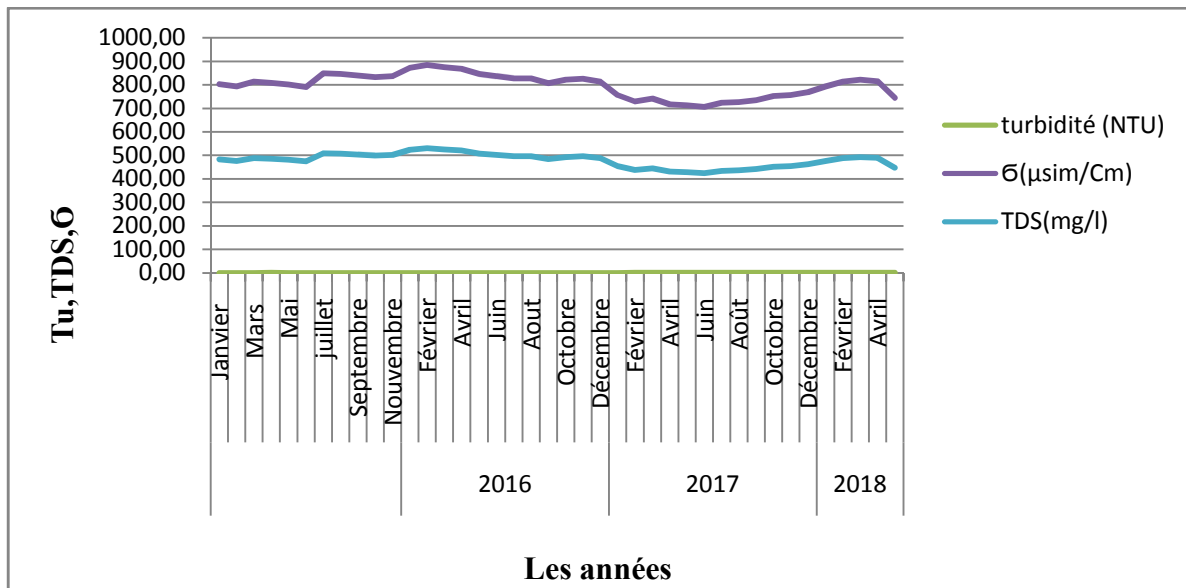


Fig.IV.2.Evolution temporelle de la turbidité, conductivité, TDS des eaux traitées du barrage Boukourdane.

L'examen de la variation des paramètres (TDS, conductivité, turbidité) à l'échelle saisonnière (Fig.IV.1), montre que pour la minéralisation totale et la conductivité pour les années 2015/2016. Les valeurs moyennes respectives sont de 500mg/l et 850μS/Cm. Pour les années 2017/2018 on constate une légère diminution de ces paramètres avec respectivement 450mg/l et 750μS/Cm, ceci peut être lié à la variation des apports pluviométriques au niveau du barrage.

Par contre la turbidité ne montre pas une grande variation sur toute la période avec une turbidité moyenne de 6,35 NTU.

➤ Variation de la température.

Les eaux brutes :

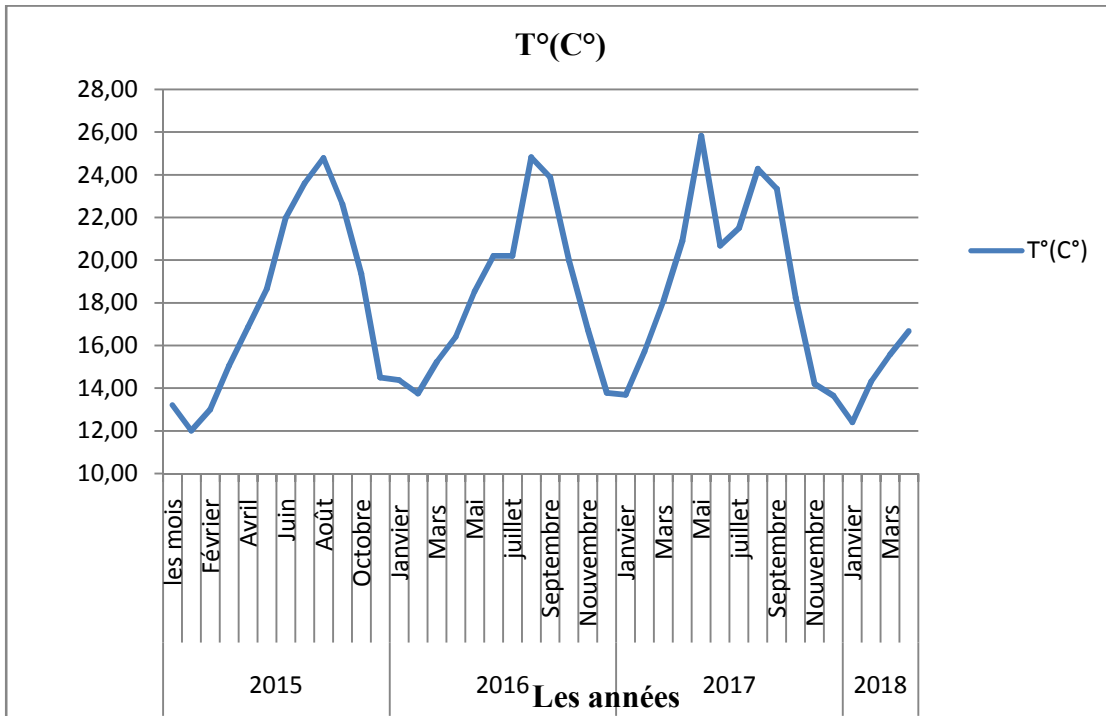


Fig.IV.3.Evolution temporelle de la température, des eaux brutes du barrage Boukourdane.

Les eaux traitées :

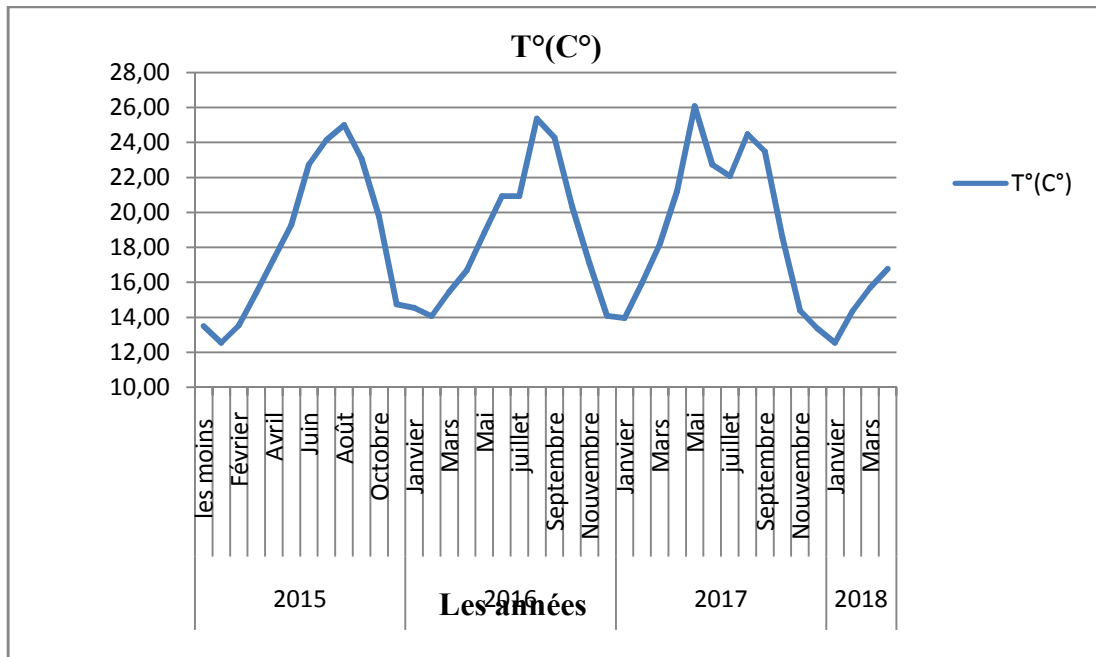


Fig.IV.4.Evolution temporelle de la température, des eaux traitées du barrage Boukourdane.

La température des eaux brutes mesurées au niveau de la prise de prélèvement ne montre pas des grandes variations et reflète les variations saisonnières de l'air avec une température moyenne de (15C°) pour les mois de Décembre, Janvier, Février et une température moyenne de (22,5C°) pour les mois de Juin, Juillet, Aout.

➤ Variation du pH.

Les eaux brutes :

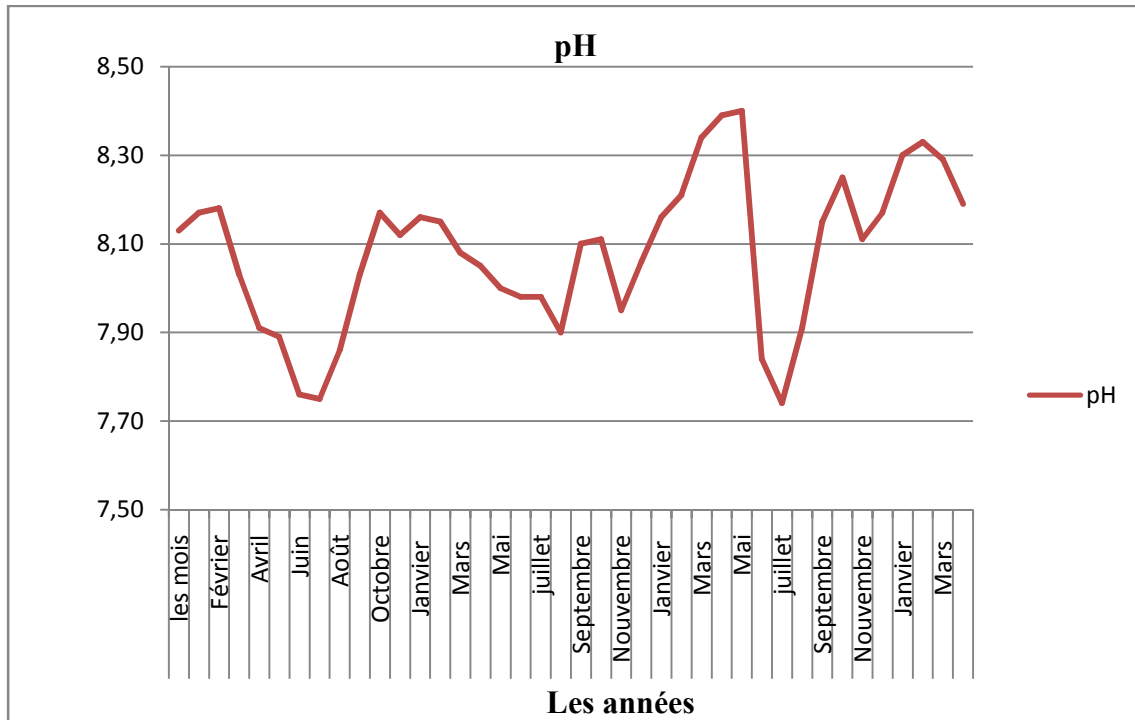


Fig.IV.5.Evolution temporelle du pH, des eaux brutes du barrage Boukourdane.

Les eaux traitées :

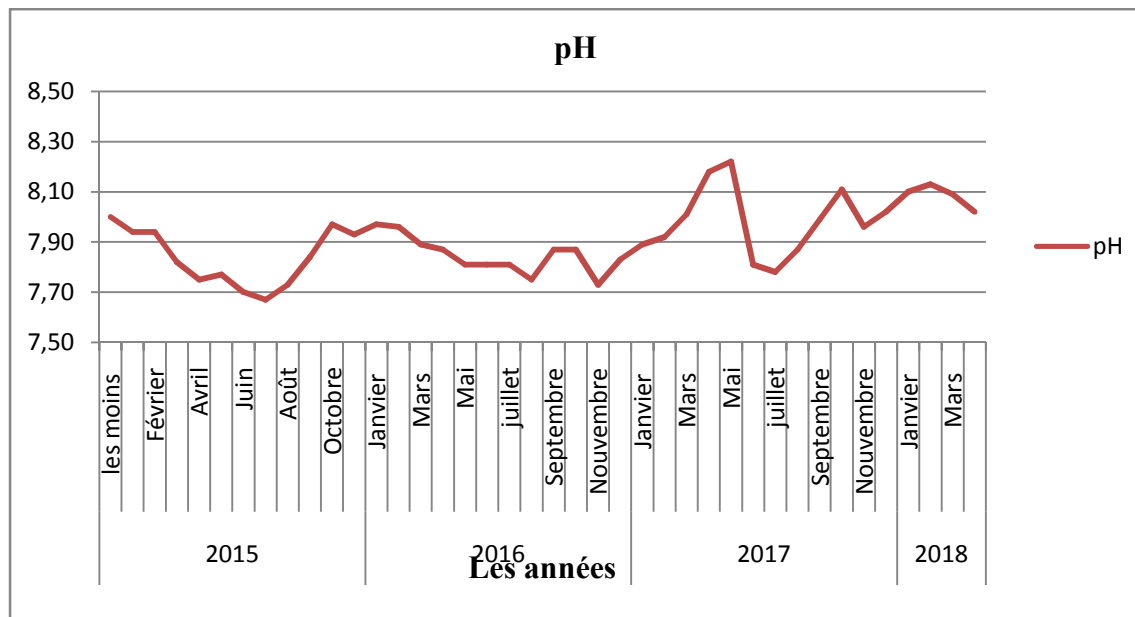


Fig.IV.6.Evolution temporelle du Ph, des eaux traitées du barrage Boukourdane.

Le pH des eaux brutes mesurées au niveau de la prise de prélèvement ne montre pas une grande variation avec un pH moyen de 8, le pH suit une variation liée aux apports pluviométrique et l'acidité de milieu. Le pH varie de 8,40 à 7,75

- Variation des ions bicarbonatés, Calcium, Magnésium.

Les eaux brutes :

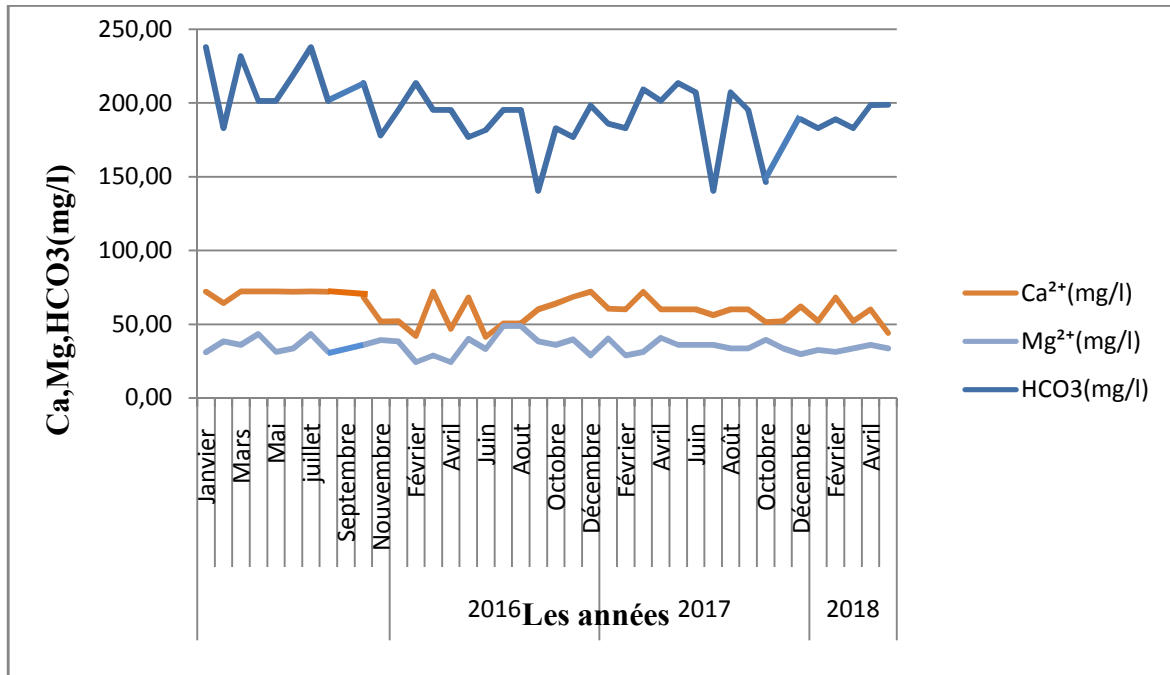


Fig.IV.7.Evolution temporelle de calcium, magnésium, bicarbonate des eaux brutes du barrage Boukourdane.

Les eaux traitées :

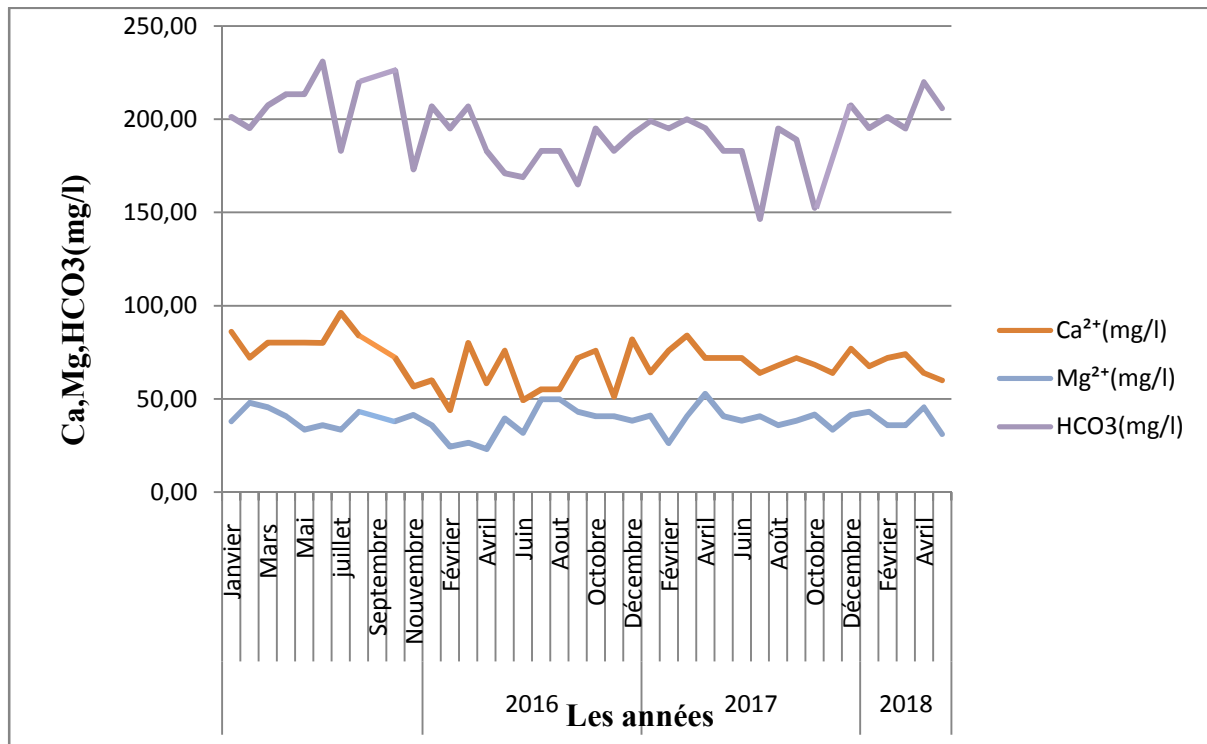
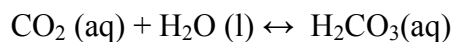
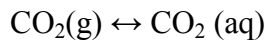


Fig.IV.8. Evolution temporelle de calcium, magnésium, bicarbonate des eaux traitées du barrage Boukourdane.

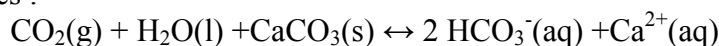
- Ion bicarbonatée (HCO₃) des eaux brutes fig.IV.5
 Durant les 4 années de mesure les concentrations en ion bicarbonaté varient de 140,3(mg/l) à 237,9 (mg/l). Ces concentrations restent supérieures à 200 (mg/l) durant toute l’année 2015. Pour les années 2016, 2017, 2018 ces concentrations sont toutes inférieures à 200(mg/l). Origine des bicarbonates dans les eaux du barrage, les ions bicarbonatés mesurés au niveau de la prise de la station peuvent avoir deux origines.

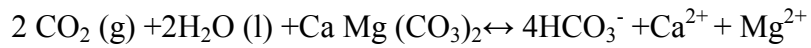
- La première est liée au système d’équilibre calco-carbonique au niveau du barrage (équilibre et eau du barrage selon les réactions suivant)



- La deuxième source est liée à la dissolution et lessivage des niveaux carbonatés du bassin versant au cours des averses. Voir fig.IV.18.

- La variation des concentrations en ion calcium et magnésium sur la même période évoluent dans le même sens et suggèrent une origine de dissolution des carbonates selon les réactions suivantes :





➤ Variation des ions sulfatés et chlorures.

Les eaux brutes :

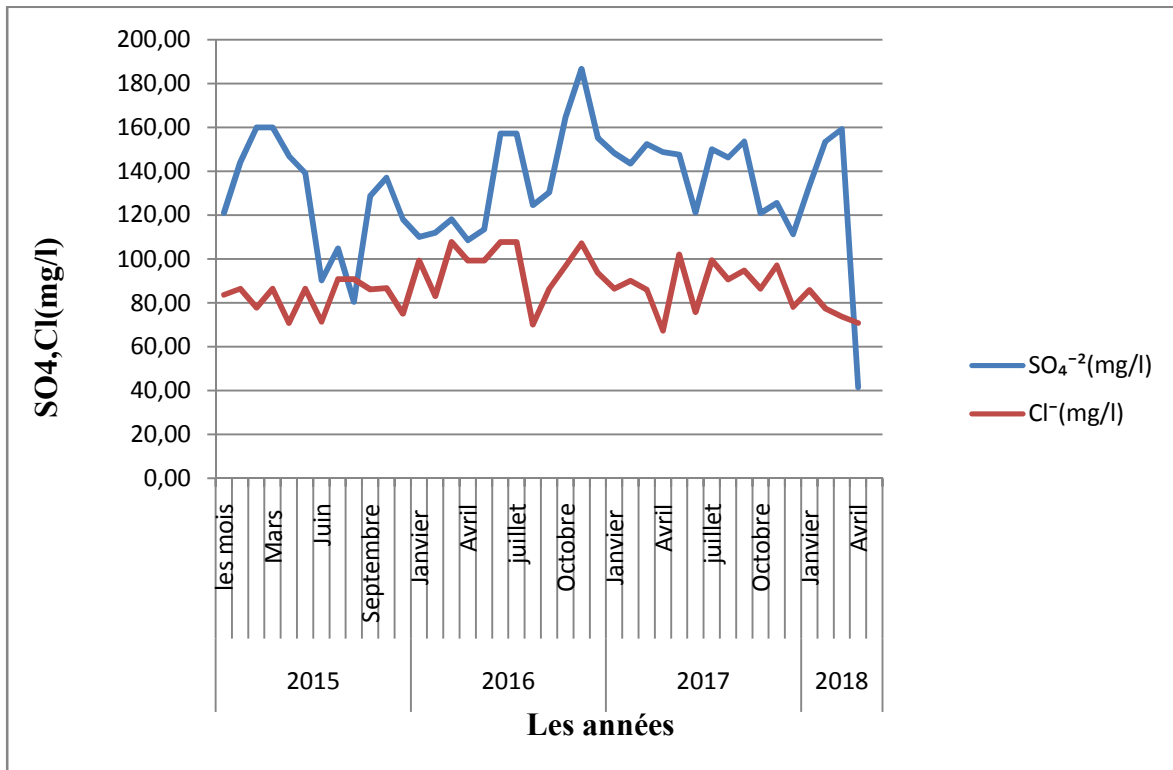


Fig.IV.9.Evolution temporelle de chlore et sulfate des eaux brute du barrage Boukourdane.

Les eaux traitées :

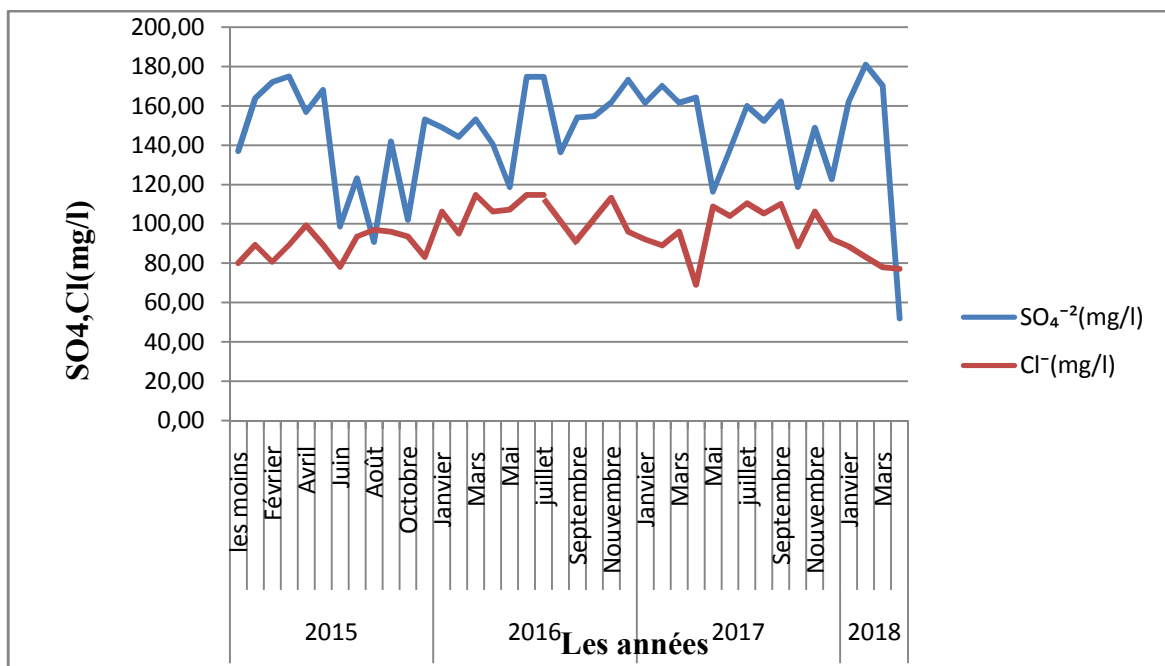


Fig.IV.10. Evolution temporelle de chlore et sulfate des eaux brute du barrage Boukourdane.

La fig.IV.9. montre la variation de ces deux ions, pour les ions sulfatés les concentrations suivent une variation liée aux apports pluviométriques les maximums sont observées aux périodes des hautes eaux (Mars, Avril, Mail) et minimums aux périodes des bases eaux. (Septembre, Octobre)

Par contre les ions chlorure ne montrent pas des grandes variations sur toute la période avec une concentration moyenne de 80 mg/l.

IV.2. Corrélation entre les éléments chimiques

Les corrélations entre certains paramètres et les éléments chimiques permettent de discuter leur origine et par conséquent le processus d'acquisition de la minéralisation totale des eaux brutes (eaux du barrage).

➤ Relation TDS-Conductivité (brute).

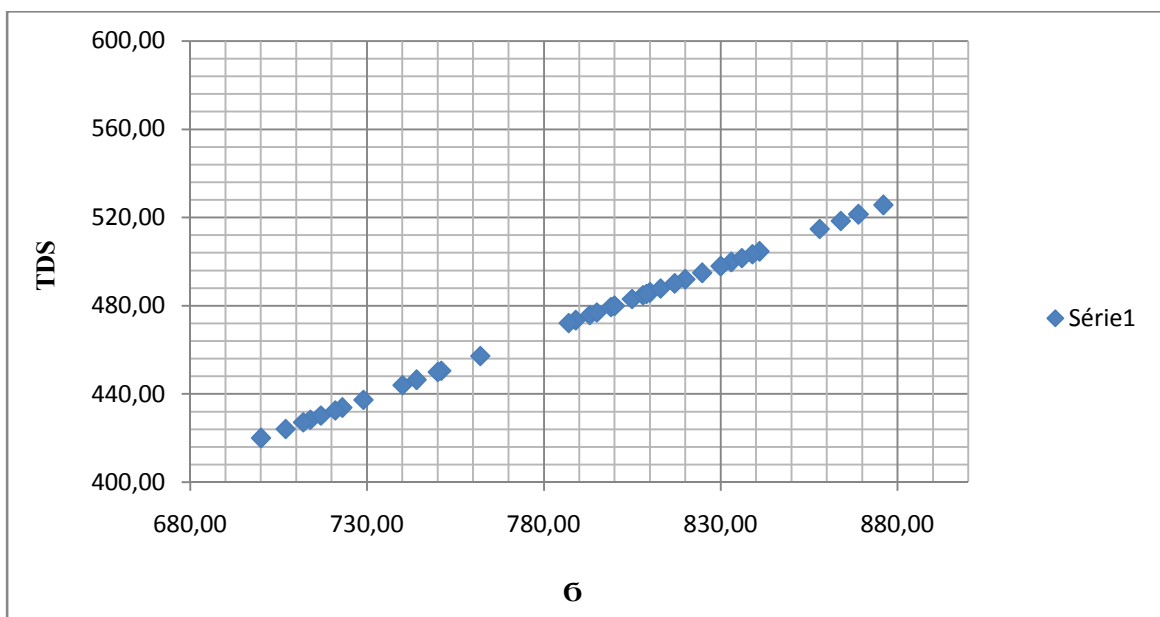


Fig.IV.11. Variation de TDS en fonction de la conductivité.

Pour l'ensemble des analyses réalisées durant les 4 années, la conductivité des eaux varie entre 880 et 700 μs/cm. La salinité varie entre 520 et 420 mg/l attestant aussi des eaux peu minéralisées (peu chargées en sels), ce qui caractérise des eaux de surface est probablement n'ayant pas séjournées longtemps dans le barrage (contact eau- roche, restreint).

La Corrélation entre ces deux paramètres reste parfaite et obéit à ce qu'est généralement admis : $TDS=0.6 \text{ Conductivité}$.

➤ **Relation entre calcium (Ca^{++}) – bicarbonate (HCO_3^-) (brute).**

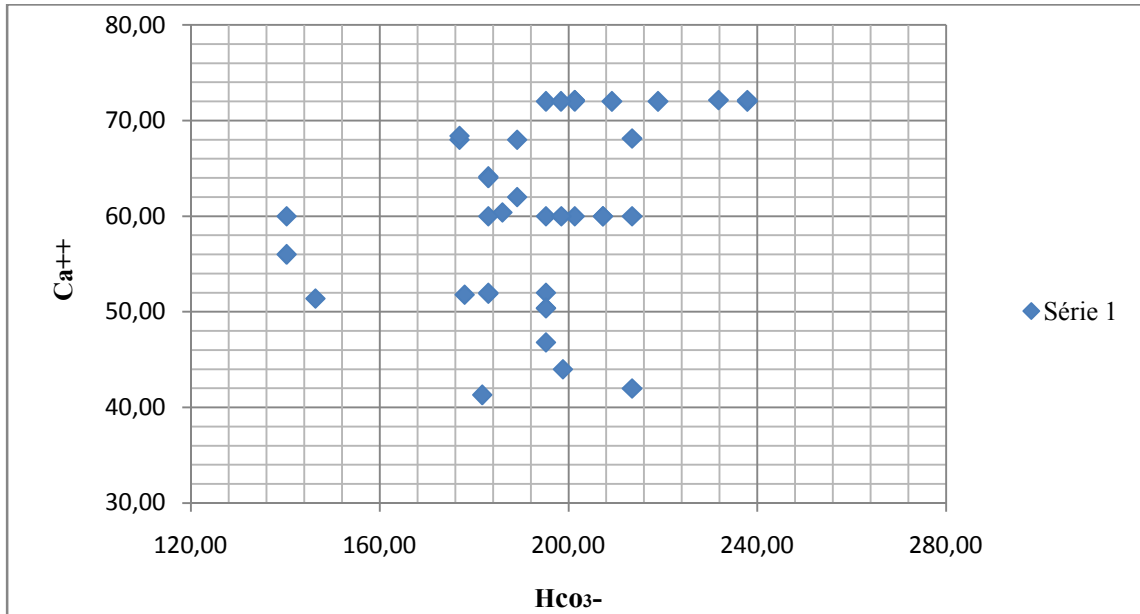


Fig.IV.12. Variation de Calcium en fonction de bicarbonate.

La relation entre les ions Ca^{++} et HCO_3^- (Fig.IV.12) ne montre pas de tendance en général, ce qui suggère une origine distincte. En effet, les ions bicarbonatés (HCO_3^-) proviendraient pour une grande part des équilibre calco-carbonique. Alors que les ions Ca^{++} pourraient provenir de la dissolution et de lessivage de certains minéraux (calcite, gypse, échange de base).

➤ **Relation entre autres éléments chimiques (Ca^{++} - SO_4^{2-}), (Ca^{++} - Mg^{++}), (SO_4^{2-} - Cl) (brute).**

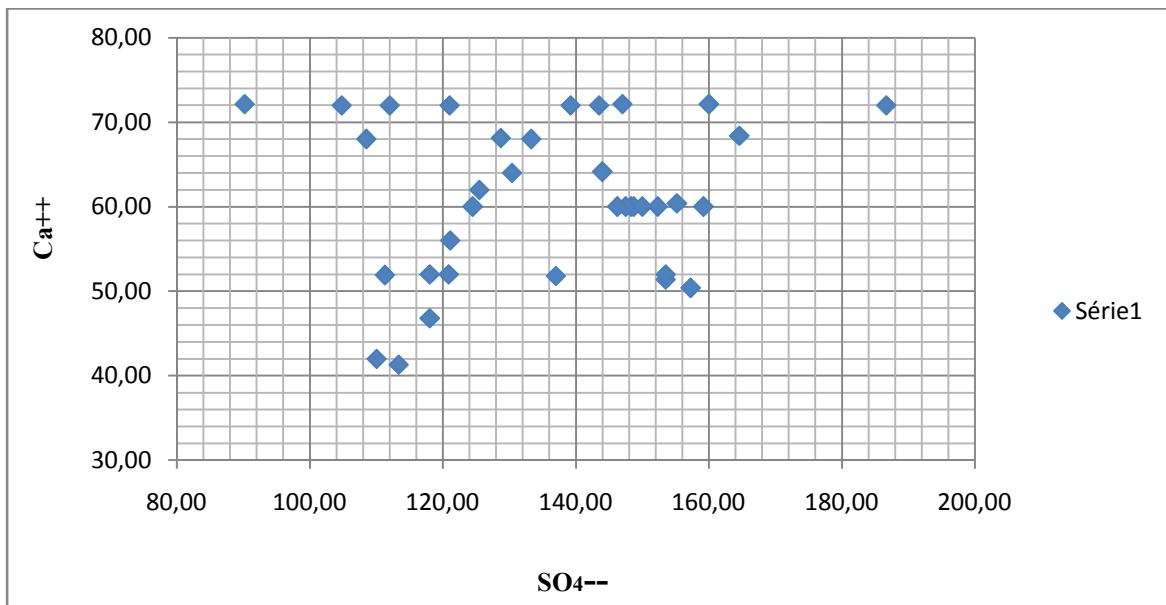


Fig.IV.13. Variation de Calcium en fonction de sulfate.

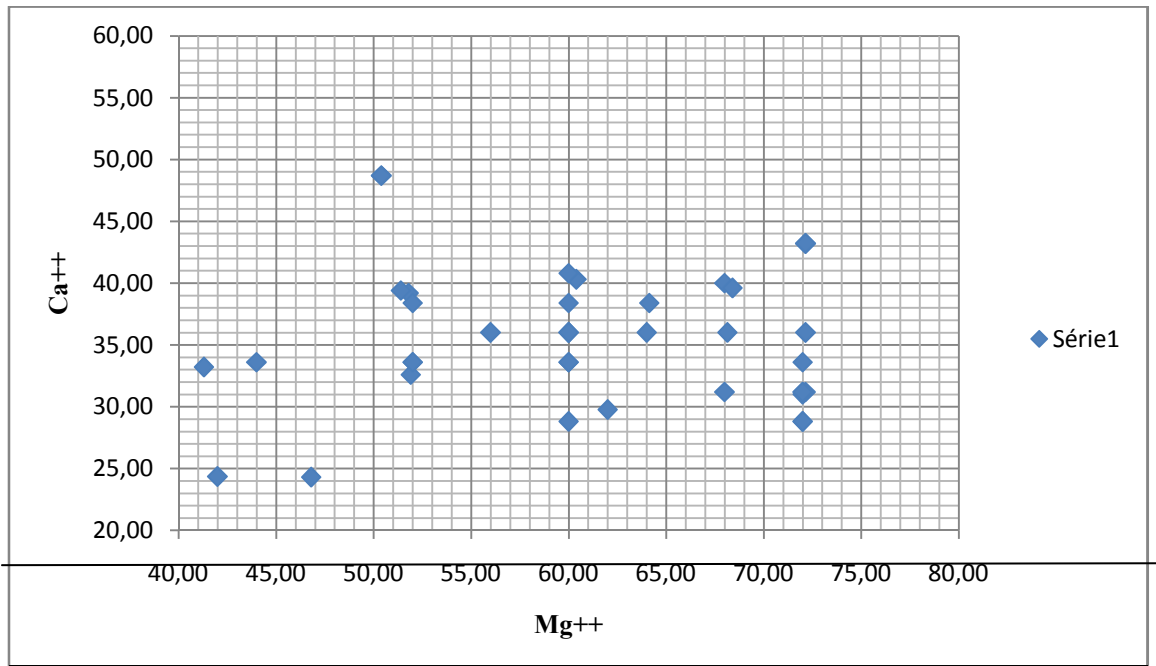


Fig.IV.14. Variation de Calcium en fonction de magnésium.

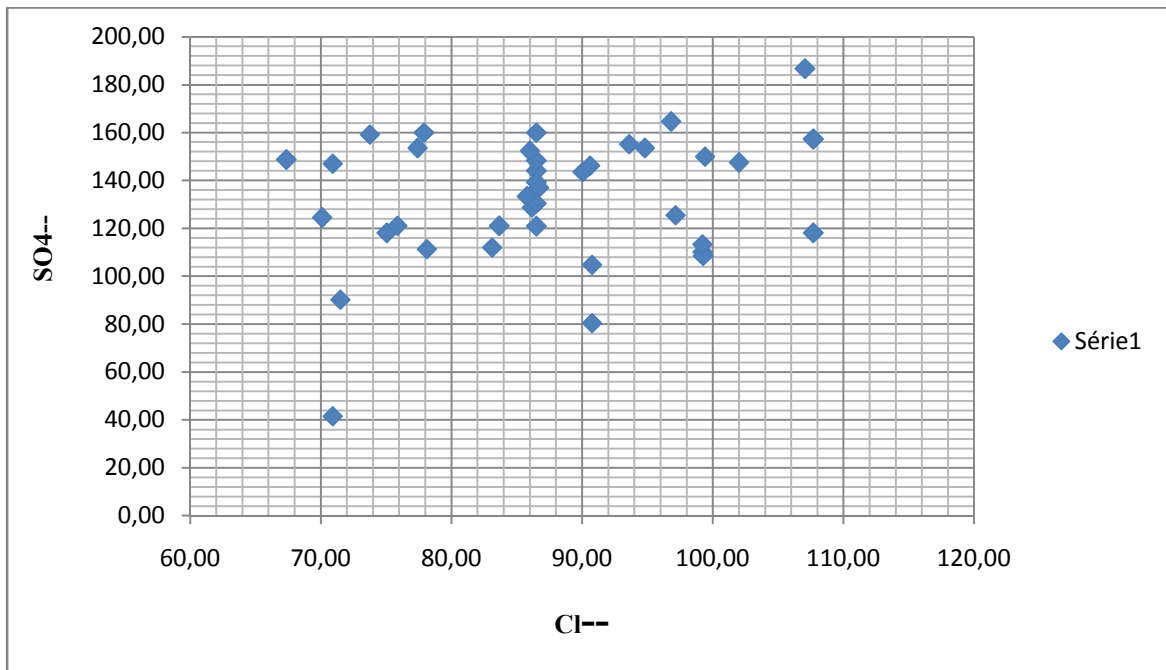


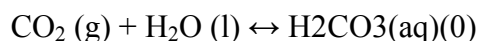
Fig.IV.15. Variation de sulfate en fonction de chlore.

Les différentes corrélations opérées entre les couples ($\text{Ca}^{++} - \text{SO}_4^{2-}$), ($\text{Ca}^{++} - \text{Mg}^{++}$), ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$) ne montrent pas de véritable liens entre ces éléments à l'échelle mensuelle ni annuel. Les concentrations en ces éléments restent représentatives des eaux du surfaces (oueds, barrage... etc.), et leur acquisition reste liée à plusieurs aspects interactions eau-

roche (qui reste faible au vu des concentrations) et lessivage des formations du bassin versant.

IV.3.Variation des éléments du système calco-carbonique

Selon les équations du système calco-carbonique développées dans le chapitre I, ainsi que les résultats des analyses chimiques des eaux du barrage, on a procédé au calcul du CO₂ équilibrant (CO₂ dissous : H₂CO₃) et pression du CO₂ (PCO₂).



$$K_0 = \text{H}_2\text{CO}_3 / p\text{CO}_2 * \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{Avec } \log K_0 = -1.5 \quad \text{et} \quad (\text{H}_2\text{O})=1$$



$$\text{Avec } \log k_1 = -6,$$

$$\text{Log} (\text{H}_2\text{CO}_3) = \log (\text{HCO}_3^-) - \log K_1 - \text{pH}$$

Les résultats obtenus seront représentés dans les tableaux et les figures ci-dessous.

Tabl.IV.1.Résultats des eaux brutes.

dates	H ₂ CO ₃ (mg/l)	PCO ₂
Janvier 2015	4.4	0.0029
Mai 2015	4.48	0.0029
Janvier 2016	2.68	0.0017
Mai 2016	2.90	0.0019
Janvier 2017	2.93	0.0019
Mai 2017	1.57	0.001
Janvier 2018	2.24	0.0014
Mai 2018	2.17	0.0014

Les concentrations en CO₂ dissous (H₂CO₃) calculés pour l'ensemble des mesures, varient entre 1,5 à 4,5 mg/l pour les eaux brutes. Durant la période 2015-2018, ce qui est conforme à ce que l'on peut attendre d'un équilibre d'une eau avec l'atmosphère.

Les pressions du CO₂ calculées sont d'un ordre de grandeur moins que celle de la PCO₂ de l'atmosphère. Ces valeurs reflètent la PCO₂ au niveau de la prise de prélèvement (-80m) et le long de la conduite jusqu'à la station.

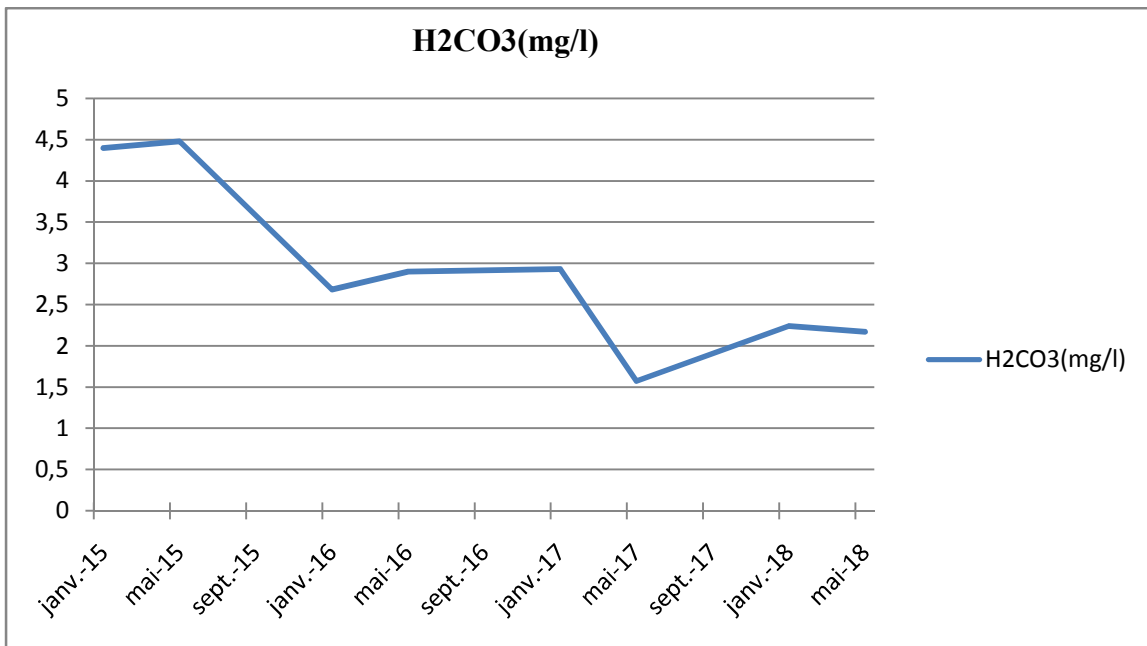


Fig.IV.16. Evolution temporelle de H₂CO₃ des eaux brutes.

Des mesures de CO₂ ont été mesurées au laboratoire selon le procédé suivant :

- Noter le volume d'acide chloridrique consommé V_d V_T V_B .
- Calcule CO₂

$$CO_2 = 200 * \frac{B-A}{V} * \frac{100}{V} * 2$$

$$CO_2 = 200 * \frac{B-A}{V}$$

Où :

- CCO₂ est la concentration de l'anhydre carbonique en milliéquivalent par litre.
- V est le volume en ml de la prise d'essais.
- A est le nombre de ml d'acide N/10 utilisé pour le dosage.
- B est le nombre de ml d'acide N/10 utilisé pour l'essai à blanc.
- Pour trouver la concentration de l'anhydre carbonique en mg/l, applique la règle de trios sachant que :

1mg/l de CCO₂ → 0.04545 milliéquivalent au litre.

Tabl.IV.2. Analyse de CO₂équilibrant au niveau de laboratoire.

Les dates	Eau distillé	Eau traité		Eau brute(Au niveau de robinet qui existe avant la cascade).		Eau brute (au niveau du barrage)	
	V (ml)	V (ml)	C (mg/l)	V (ml)	C (mg/l)	V (ml)	C (mg/l)
04-04-2018	7.2	6.6	15.4	7	5.06		
11-04-2018	7.2	7.1	2.57			7.4	5.17
16-05-2018	7.2			7.1	2.64		

Les valeurs mesurées s'inscrivent dans l'ordre de grandeur de ceux mesurées sur les eaux brutes de barrages(Tabl.IV.1).

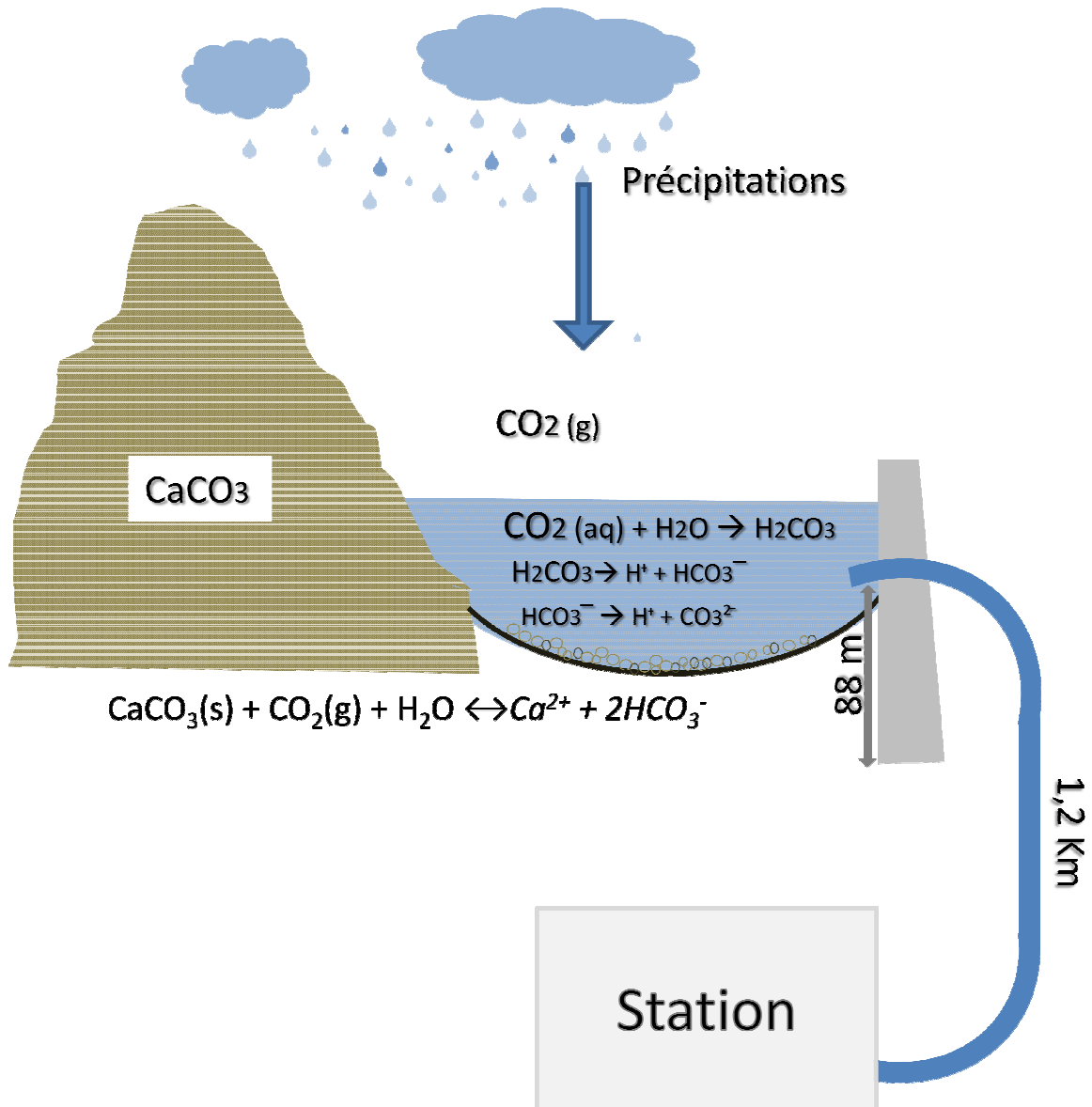


Fig.IV.17. Schéma représentatif des équilibres calco-carboniques à l'échelle du bassin versant et du barrage.

Conclusion

L'objet de ce mémoire a porté sur l'étude calco-carbonique des eaux du barrage de boukourdane. L'étude a été réalisée au niveau de la station de traitement de SEAAL Sidi Amar-Tipaza-où nous avons effectuées un stage de formation qui nous a permis de se familiariser avec les techniques de prélèvement et d'analyse des eaux naturelles (eaux de surface du barrage boukourdane).

Les analyses réalisées ont concernées les paramètres physico-chimiques (pH, T, TDS, turbidité, conductivité), les paramètres de minéralisations (Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- et TAC) et de pollution (NO_3^- , NO_2^-) aussi les paramètres de l'étude calco-carbonique (CO_2 , H_2CO_3 , CO_3^{2-}).

Ces paramètres sont analysés par différentes méthodes : par titrage, par spectrophotomètre, aussi nous avons utilisés des appareils pour mesurer quelque paramètre. Les méthodes graphiques et analytiques exploitées sont suffisantes pour déterminer l'origine des certains paramètres et caractériser l'eau, si elle est agressive ou incrustante, ce qui nous permet d'ajuster son pH au pH d'équilibre.

L'acquisition du chimisme des eaux du barrage est directement liée au processus du contact (interaction eau-roche) d'une part, et des équilibres carboniques au niveau du plan d'eau du barrage.

L'examen de la variation temporelle de l'ensemble des paramètres physico-chimiques a permis d'établir la qualité chimique des eaux qui reste très acceptable. Par rapport aux normes Algériennes et Mondiales.

Une eau, pour être considérée comme potable et pouvoir être distribuée à une collectivité doit :

- ne pas présenter de coloration ni turbidité.
- ne pas avoir un pouvoir colmatant dû aux éléments en suspension.
- ne pas contenir d'algues ou autres éléments.
- ne pas présenter d'indices chimiques de pollution, ni de concentration en substances toxiques ou indésirables supérieures aux normes fixés.
- la minéralisation totale ne doit pas excéder les normes.
- l'eau ne doit présenter ni odeur ni saveur désagréables.

Pour finir, nous espérons que ce modeste travail a été clair et qu'il fera l'objet des améliorations et sera d'une aide non négligeable aux intéressés.

Introduction générale

L'un des aspects important à cerner concernant les eaux naturelles aussi bien celles destinées à l'alimentation à l'eau potable via les processus de traitements que celles affectées directement à l'irrigation, est leur chimie des carbonates. Si par habitude, le système calco-carbonique des eaux naturelles n'est pas pris spécifiquement dans les équipements et le calage des stations de leur traitement et de ceux de leur canalisation vers leurs usages, sa prise en charge reste cependant forte utile. Sa connaissance antérieurement à toutes les opérations en aval de leur capture est a même de préciser le type(nature) de conduites et de canaux mais aussi d'avoir l'information concernant les variations de leurs teneurs en carbonates a des fin de prévision éventuelle de leur dureté avant leur affectation.

Cette étude se propose donc d'analyser le système calco-carbonique des eaux de la retenue de Boukourdane (Sidi Amar - Tipasa). Elle trouve ainsi son originalité en rupture avec les classiques analyses physico-chimiques globales.

Le système calco-carbonique des eaux naturelles est en réaction avec les teneurs en CO₂. Il est responsable des deux phénomènes : l'incrustation (dépôts de carbonates et cristallisation) et de dissolution selon le pH et la teneur en gaz carbonique de l'environnement. Nous tenterons d'en faire le point quant aux eaux de la retenue de Boukourdane (Sidi Amar - Tipasa) après avoir présenté le site et analysé les compositions physico chimiques de leurs eaux. Enfin, nous qualifierons la nature du système calco-carbonique dans sa variation dans le temps.

La qualité de l'eau est un paramètre impactant tous les aspects des écosystèmes et de l'homme tels que la santé d'une communauté, les denrées alimentaires à produire, les activités économiques, la viabilité des écosystèmes et la biodiversité et surtout leur durabilité.

Du point de vue de la qualité chimique des eaux, est reste fonction de son usage. En conséquence, l'eau destinée aux loisirs, à la pêche, à la boisson et à l'habitat des organismes aquatiques exige des niveaux de pureté plus élevés tandis que pour celle consacrée à la production d'énergie hydraulique les normes de qualité sont beaucoup moins importantes. C'est la raison pour laquelle la qualité de l'eau est définie largement comme les « caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau nécessaires pour les utilisations qui en sont souhaitées ». Il convient de remarquer qu'après avoir été utilisée, l'eau retourne généralement au système hydrologique et, si elle n'est pas traitée, elle peut avoir de graves effets sur l'environnement.

La qualité de l'eau se détériore en raison de:

- Son interdépendance de l'environnement dans lequel elle circule (nappe aquifère, karsts..) et des conditions de son stockage (barrages, retenue, zones humides...) et de son transport (type de canalisation).
- Du rejet direct des effluents industriels et d'assainissement sans traitement.
- Des apports chimiques inconsidérés par les amendements agricoles notamment en nitrates, sulfates et potasse.

- Les sur pompages dans les zones côtières induits par une incohérente politique de l'aménagement du territoire avec la concentration des besoins et leur croissance qui participent à l'invasion des nappes littorales par la salinité.
- L'accroissement démographique qui accentue la demande, les rejets et donc la dégradation de l'environnement.
- Les changements climatiques et en particulier la hausse des températures et ses répercussions sur les schémas hydrologiques régionaux ou locaux tels que les sécheresses aux niveaux des zones humides qui accentuent l'évaporation et donc la saturation de leurs eaux en différents sels par concentration.
- La déforestation dont la conséquence est l'enrichissement des écoulements de surface en matière organique mais aussi par l'envasement des barrages dont les conséquences qualitatives et quantitatives sur les eaux sont néfastes.

Les eaux naturelles contiennent divers composés qui se trouvent sous leur forme dissoute. L'un de ces composés est le carbonate de calcium, dont l'équilibre dans l'eau est sous la dépendance du dioxyde de carbone.

Le présent travail est structuré en trois chapitres. Le premier est consacré à la connaissance du système calco-carbonique, le second présentera le site et la méthode utilisée et les résultats des analyses effectuées et le troisième compilera les commentaires, analyses des résultats et les interprétations. Une conclusion ponctuera avec la présentation des caractéristiques des eaux du site quant à leur système calco-carbonique.

Liste des abréviations

SEAAAL: Société de L'Eau et de l'Assainissement d'Alger.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique.

PVC : Poly Chlorure de Vinyle.

NTU : Néphélométrie Turbidité Unit.

σ : Conductivité.

pH : potentiel d'Hydrogène.

Tu : Turbidité.

T : Température.

TA : Titre alcalimétrie.

TAC : Titre alcalimétrie complet.

EDTA : Ethylène-Diamine-Tétra-Acétique.

N : Normalité.

PE : Prise d'Eau.

TDS : Sels Totaux Dissouts.

Ca : Calcium.

Mg : Magnésium.

SO₄ : Sulfate.

Cl : Chlorure.

HCO₃ : Bicarbonate.

CO₃ : carbonate.

CO₂ : Dioxyde de Carbone libre.

H₂CO₃ : Dioxyde de Carbone équilibrant.

H⁺ : Ion Hydrogène.

OH⁻ : Ion Hydroxyde.

NO³⁻ : Nitrate.

NO^{2-} : Nitrite.

UV-VIS : ultraviolet Visible.

V : Volume.

$^{\circ}\text{C}$: Degrés Celsius.

$^{\circ}\text{F}$: Degré français.

$\mu\text{S}/\text{Cm}$: micro-siemens par centimètre.

Max : Maximum.

Min : Minimum.

tr/ min : tour par minute.

mg : milligramme.

mg /l : milligramme par litre.

ml : millilitre.

m^3 :mètre cube.

m^3/j : mètre cube par jour.

m^3/s : mètre cube par seconde.

hm^3/an : hectomètre cube par ans.

m : mètre.

km : kilomètre.

mm : millimètre.

m/h : mètre par heure.

ha : hectare.

Liste des tableaux

Tabl.I.1. Eléments fondamentaux en cations et en anions.....	(1)
Tabl.I.2. Eléments caractéristiques.....	(1)
Tabl.I.3. Energie libre de formation ΔG_f° en kcal/mole à 25°C et 1 atm (Garrels et Christ,1965).....	(8)
Tabl.I.4. Solubilité de Calcite, Dolomite, Gypse.....	(10)
Tabl.I.5. pH de saturation.....	(12)
Tabl. II.1. Régime saisonnier du barrage Boukourdane (période 2005 à 2017).....	(22)
Tabl.II.2. Températures mensuelles de la région de barrage (période 2005 à 2017).....	(23)
Tabl.III.1. Analyse des eaux brutes.....	(48)
Tabl.III.2. Analyse des eaux traitées.....	(49)
Tabl.III.3. résultat de Nitrite (année 2018).....	(50)
Tabl.III.4. résultat de Nitrate (année 2018).....	(50)
Tabl.IV.1. Résultats des eaux brutes.....	(61)
Tabl.IV.2. Analyse de CO ₂ équilibrant au niveau de laboratoire.....	(63)

Liste des figures

Fig.I.1. Échanges dans le "système calco-carbonique "	(3)
Fig.I.2. Trois phases de système.....	(3)
Fig.I.3. Variation des espèces carbonatées en fonction du pH.....	(4)
Fig.I.4. Distribution d'une eau à l'équilibre respectant les valeurs de pH compatibles avec la potabilité de l'eau.....	(13)
Fig.II.1. Localisation du barrage Boukourdane (Google Earth).....	(15)
Fig.II.2. Pêche dans le barrage Boukourdane.....	(16)
Fig.II.3. Bassin versant du barrage Boukourdane.....	(17)
Fig.II.4. Barrage Boukourdane.....	(18)
Fig.II.5. Tour de prise d'eau du barrage (Photo prise, avril 2018).....	(19)
Fig.II.6. Evacuateur de crue du barrage Boukourdane.....	(19)
Fig.II.7. Station météorologique du barrage Boukourdane).....	(21)
Fig.II.8. Répartition des précipitations moyennes mensuelles du barrage (2005 à 2017)....	(22)
Fig.III.1. Conduite barrage station de l'eau brute (800→400 mm).....	(26)
Fig.III.2. Fonctionnement de la station.....	(27)
Fig.III.3. Cascade d'aération.....	(28)
Fig.III.4. Bassin de Coagulation et Flocculation.....	(29)
Fig.III.5. Bassin de mélangeur rapide.....	(29)
Fig.III.6. Bassin de décantation.....	(30)
Fig.III.7. Bassin de filtration.....	(31)
Fig.III.8. Réservoir de désinfection.....	(32)
Fig.III.9. Prélèvement au niveau du barrage.....	(33)
Fig.III.10. Robinet de l'eau brute.....	(33)
Fig.III.11. Prélèvement au niveau de Robinet de laboratoire.....	(34)
Fig.III.12. Turbidimètre.....	(34)
Fig.III.13. PH-mètre.....	(35)
Fig.III.14. Conductivimètre.....	(36)

Fig.III.15. Dosage (Ca^{2+}).....	(38)
Fig.III.16. Titrage (Mg^{2+}).....	(39)
Fig.III.17. Titrage (Cl^-).....	(41)
Fig.III.18. Titrage (HCO_3^-).....	(41)
Fig.III.19. Détermination de (SO_4^{2-}).....	(44)
Fig.III.20. Titrage (CO_2).....	(46)
Fig.IV.1. Evolution temporelle de la turbidité, conductivité, TDS des eaux brutes du barrage Boukourdane.....	(51)
Fig.IV.2. Evolution temporelle de la turbidité, conductivité, TDS des eaux traités du barrage Boukourdane.....	(52)
Fig.IV.3. Evolution temporelle de la température, des eaux brutes du barrage Boukourdane.....	(53)
Fig.IV.4. Evolution temporelle de la température, des eaux traitées du barrage Boukourdane.....	(53)
Fig.IV.5. Evolution temporelle du pH, des eaux brutes du barrage Boukourdane.....	(54)
Fig.IV.6. Evolution temporelle du Ph, des eaux traitées du barrage Boukourdane.....	(54)
Fig.IV.7. Evolution temporelle de calcium, magnésium, bicarbonate des eaux brutes du barrage Boukourdane.....	(55)
Fig.IV.8. Evolution temporelle de calcium, magnésium, bicarbonate des eaux traitées du barrage Boukourdane.....	(56)
Fig.IV.9. Evolution temporelle de chlore et sulfate des eaux brute du barrage Boukourdane.....	(57)
Fig.IV.10. Evolution temporelle de chlore et sulfate des eaux brute du barrage Boukourdane.....	(57)
Fig.IV.11. Variation de TDS en fonction de la conductivité.....	(58)
Fig.IV.12. Variation de Calcium en fonction de bicarbonate.....	(59)
Fig.IV.13. Variation de Calcium en fonction de sulfate.....	(59)
Fig.IV.14. Variation de Calcium en fonction de magnésium.	(60)
Fig.IV.15. Variation de sulfate en fonction de chlore.....	(60)
Fig.IV.16. Evolution temporelle de H_2CO_3 des eaux brute.....	(62)
Fig.IV.17. Schéma représentatif des équilibres calco-carboniques à l'échelle du bassin versant et du barrage.....	(64)

Référence bibliographique

- [1] [CARDOT C. "Les traitements de l'eau", Procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus. Ellipses Edition Marketing S.A, 1999].
- [2] Larson & Buswell - «Calcium, carbonate saturation index and alkalinity interpretations »J.A.W.W.A, novembre 1942.
- [3] RODIER J., COLL."L'analyse de l'eau", Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eaux de mer, 8^e édition, Dunod, Paris 2005.
- [4] DEGREMONT."Mémento technique de l'eau ", Tome 1,Deuxième édition, Suez, 1995.
- [5] G. MICHARD : Équilibres chimiques dans les eaux naturelles Collection Sciences et Techniques PUBLISUD 1989.
- [6] C.J. ALLEGRE et G. MICHARD : Introduction à la géochimie P.U.F. 1973.
- [7] J. CANNELLAS et B. BLAVOUX : Relations entre les structures géologiques, la structure géologique, la composition chimique des eaux minérales et leurs orientations thérapeutiques La Houille Blanche 2/3 1995.
- [8] Philippe Olive(1976) : Le système $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O} / \text{CaCO}_3$, mémento pratique (page 2-24).
- [9] Rodier j (1984) : « l'analyse de l'eau » 9^{ème} édition (analyse physico-chimique des eaux naturelle) (équilibre calco-carbonique page 132).
- [10] Monographie. Barrage de Boukourdane sur l'oued EL-Hachem Wilaya de Tipaza ; janvier 1994, 94-95p. (Bassin versant et climatologie).
- [11] Monographie. Barrage de Boukourdane sur l'oued EL-Hachem Wilaya de Tipaza ; janvier 1994, 01p. (Barrage, système de prise d'eau).
- [12] Monographie. Barrage de Boukourdane sur l'oued EL-Hachem Wilaya de Tipaza ; janvier 1994, 02p. (Évacuateur de crue).
- [13] Remini B. & Hallouche W., 2005. Prédiction de l'envasement dans les barrages du Maghreb. *Larhyss J.*, **4**, 69-80.
- [14] Monographie. Barrage de Boukourdane sur l'oued EL-Hachem Wilaya de Tipaza ; janvier 1994, 08p. (Aperçu géologique).
- [15] DEBIECHE T.H. 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité. Azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution agricole et industrielle. Thèse de doctorat en hydrogéologie de l'environnement. Université de Franche- Comté. France. 312p.
- [16] ANRH : « Agence National des Ressources Hydraulique ».

[17] SEAAAL labo : Fonctionnement de la station , mode opératoire des méthodes d'analyses : Rapport interne, (2001).

Site web

[A]-<https://www.hydro-land.com/e/doc/local/LSI.html>.

[B]- <https://www.popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=13281&format=pdf>.