



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université d'El-Oued

Faculté de la Technologie

Département : Génie des procédés et
pétrochimie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique

Option : Génie Raffinage

**Evaluation De La Qualité Physico-
chimique Des Eaux à L'aide d'indice
De Qualité De L'eau (IQE)**

Présenté par :

- Abaidi mabrouk

Président : Khaled BILAL

M.A.A, Université d'El Oued.

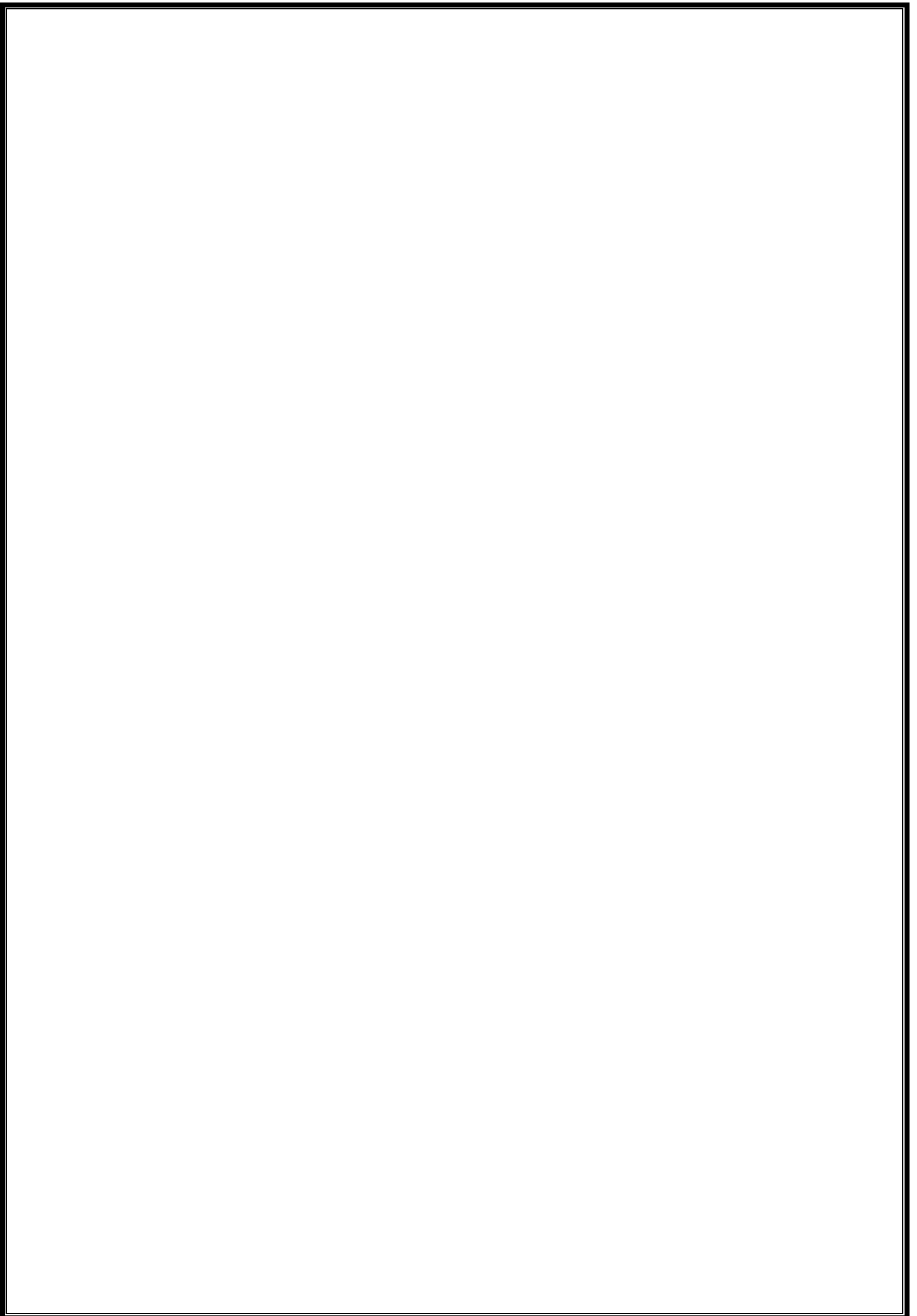
Examinatrice : Youcef REGEB

M.A.A, Université d'El Oued.

Promoteur : Mr.Abdealaziz BOUHOREIRA

M.A.B, Université d'El Oued.

Année Universitaire 2021/2022



Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En suite, nous tenons à remercier notre encadrant Mr :

Dr .ABDEALAZIZ BOUHOREIRA

Pourses qualités humaines et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail

Nous remercions nos «parents» pour leur soutien moral et financier, Le courage qu'ils nous ont donné pour surmonter toutes les difficultés durant nos années d'études et pour Aidez-nous à élaborer ce modeste projet.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Dédicace

Nous dédions ce travail :

A nos très chers parents, sources inépuisables d'amour et de tendresse

En reconnaissance

Des sacrifices consentis avec dévouement

Pour notre éducation et notre formation.

A nos amis et à toute notre famille ainsi

Qu'à tous ceux qui nous sont chers veuillez trouver ici le symbole de l'amour

Et l'intime attachement que vous nous portez

RESUME :

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une expression numérique utilisée pour évaluer la qualité globale de l'eau à partir d'une grande quantité de données et il est facilement compris par les gestionnaires et décideurs. Dans cette étude, l'IQE paramètres physico-chimiques (pH, T°C, CE, O₂_diss, NH₄, NO₃, SO₄, PO₄ et DBO₅) est utilisé pour évaluer la qualité globale des eaux superficielles dans ain salama et foug khanga .

Les résultats ont clairement montré que la qualité de l'eau est liée à la saison chaude et à la température.

MOTS-CLE : Paramètres physicochimiques ,IQE, Ain Salama , Barrage Foug El Khanga

Abstract :

The water quality index (EQI) is a numerical expression used to assess the overall water quality based on a large amount of data and it is easily understood by managers and decision-makers. In this study, the EQI physico-chemical parameters (pH, T°C, CE, O₂-diss, NH₄, NO₃, SO₄, PO₄ and BOD 5) is used to assess the overall surface water quality in ain salama and foug khanga.

The results clearly showed that water quality is related to the warm season and temperature.

KEYWORDE: Physicochemical paramètres, EQI, Ain Salama, Foug El-Khanga

المخلص :

مؤشر جودة المياه هو تعبير رقمي يستخدم لتقييم جودة المياه بشكل عام بناء على كمية كبيرة من البيانات ويمكن فهمه بسهولة من قبل المديرين وصناع القرار. في هذه الدراسة ، يتم استخدام الاعدادات الفيزيائية والكيميائية (pH, T°C, CE, O₂_diss, NH₄, NO₃, SO₄, PO₄ DBO₅) لتقييم الجودة الإجمالية للمياه السطحية في عين سلامة وفم خانقة.

أظهرت النتائج بوضوح أن جودة المياه مرتبطة بالموسم الدافئ ودرجة الحرارة.

كلمات مفتاحية : اعدادات فيزوكيميائية ، مؤشر جودة الماء ، عين سلامة ، فم خانقة

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Symboles et Annotation	
Sommaire	
Introduction générales	01
Partie 1 Généralités	
Chapitre I : Qualité des eaux	
I-1- Introduction	03
I-2- Les analyses physico-chimiques	03
Chapitre II : l'indice De Qualité De L'eau (IQE)	
II-1- Introduction	09
II-2- Historique	09
II-3- L'indice de qualité de l'eau (IQE)	09
Partie 2 : Matériel et méthodes	
Chapitre III : Méthodologie et données utilisées	
Premier cas de Algérienne	
III-1- Matériel et méthodes	13
III-1-1- Zone d'étude	13
III-1-2- Méthode d'étude	13
III-1-3- Résultats et discussion	14
III-1-3-1- Analyse physico-chimiques	14
III-1-3-2- Analyse en composante principale (ACP)	20
III-1-4- Normes de la qualité des eaux	20
III-1-5- Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE)	23
Deuxième cas de Marocain	
III-2- Matériel et méthodes	28
III-2-1- Zone d'étude	28
III-2-2- Méthode d'étude	28
III-2-2-1- Analyses physico-chimiques et bactériologiques	29
III-2-2-2- Analyse physico-chimiques	29
III-2-3- Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE)	34
Conclusion Générale	38
Bibliographie	

Liste de Figure

Figure	Titre de Figure	page
Figure(III-1)	Situation géographique du barrage Foum El-Khanga.	13
Figure (III-2)	Variation temporelle de la température.	15
Figure(III-3)	Variation temporelle du potentielle d'hydrogène	15
Figure(III-4)	Variation temporelle de la conductivité électrique	16
Figure(III-5)	Variation temporelle du magnésium	16
Figure(III-6)	Variation temporelle des chlorures	17
Figure(III-7)	Variation temporelle des sulfates	17
Figure(III-8)	Variation temporelle des nitrates	18
Figure(III-9)	Variation temporelle de l'ammonium	18
Figure(III-10)	Variation temporelle du fer	19
Figure(III-11)	Variation temporelle de la demande biologique en oxygène	19
Figure(III-12)	Variation temporelle de la demande chimique en oxygène	20
Figure(III-13)	Normes d'eau potable selon l'OMS (2006).	22
Figure(III-14)	Localisation géographique d'AIN SALAMA	28
Figure(III-15)	Variations annuelles de la température	30
Figure(III-16)	Variations annuelles du potentiel hydrogène	30
Figure(III-17)	Variations annuelles de la Conductivité électrique	31
Figure(III-18)	Variations annuelles de la turbidité	31
Figure(III-19)	Variations annuelles des teneurs en oxygène dissous dans les eaux AIN SALAMA	32
Figure(III-20)	Variations annuelles de la teneur en Sulfates dans les eaux AIN SALAMA	32
Figure(III-21)	Variations annuelles de la teneur en nitrates dans les eaux AIN SALAMA	33
Figure(III-22)	Variations annuelles de la teneur en nitrites dans les eaux AIN SALAMA	33
Figure(III-23)	Variations annuelles des chlorures dans les eaux AIN SALAMA	34

Liste de Tableau

Tableau	Titre de Tableau	page
Tableau II.1	II-1- Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE	11
Tableau III.1	Caractéristiques physico-chimiques étudiées	14
Tableau III.2	Valeur maximal standard de certains paramètres	23
Tableau III.3	Poids des paramètres physico-chimiques et norme Alegria de qualité des eaux de surface	24
Tableau III.4	Les valeurs Qi pour chaque mois FOUM EL KHANGA	25
Tableau III.5	Les valeurs IQE pour chaque mois FOUM EL KHANGA	27
Tableau III.6	Valeur maximal standard de certains paramètres	34
Tableau III.7	Poids des paramètres physico-chimiques et norme marocaine de qualité des eaux de surface	35
Tableau III.8	Les valeurs Qi pour chaque mois AIN SALAMA	35
Tableau III.9	Les valeurs IQE pour chaque mois AIN SALAMA	36

Liste d'abréviation

NTU : unité céphalométrique de turbidité (NTU).

PH : potentiel hydrogène.

OMS : l'organisation mondiale de la santé.

T° : la température.

C : la conductivité.

TU : la turbidité.

NO⁻²: Nitrite.

Ca²⁺: Calcium.

Cl: Chlorures.

HCO₃⁻: Bicarbonate.

TH: Dureté totale.

CaCO₃ : Dureté permanente.

CaCO₃ : Titre alcalin complet.

IQE : L'indice de la qualité de l'eau.

Wi : le poids de chaque paramètre selon son importance relative dans la qualité des eaux de boisson.

K : constante de proportionnalité.

Si : valeur maximale de la norme standard algérien des eaux de surface de chaque paramètre.

Qi : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

Ci : la concentration de chaque paramètre en mg/l.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est essentielle pour la vie. Pourtant, des millions et des millions d'habitants dans le monde entier connaissent des pénuries d'eau et luttent quotidiennement pour trouver de l'eau potable couvrant leurs besoins de base. Des millions d'enfants meurent encore chaque année de maladies évitables transmises par l'eau. Les catastrophes naturelles liées à l'eau, telles que les inondations, les tempêtes tropicales et les raz-de-marée, provoquent de lourdes pertes en vies humaines et de grandes souffrances. Trop souvent, la sécheresse frappe des pays parmi les plus pauvres du monde, aggravant la faim et la malnutrition. Au cours de la décennie écoulée, des progrès importants ont été réalisés pour ce qui est de fournir aux populations une eau de boisson salubre et des services adéquats d'assainissement. Mais il reste beaucoup à faire durant la décennie à venir pour fournir ces services essentiels à ceux qui en sont encore dépourvus, dont la grande majorité vit dans la pauvreté .

La qualité de l'eau est un critère important pour répondre à la demande et à l'approvisionnement en eau. Garantir une qualité d'eau douce adaptée aux besoins humains et écologiques est donc un aspect important de la gestion intégrée de l'environnement et du développement durable. Pour représenter de manière claire la qualité de l'eau, différents indices de la qualité de l'eau sont utilisés pour évaluer la qualité des eaux superficielles.

L'objectif de cette étude est de déterminer la qualité des eaux par le calcul de l'indice de qualité globale de l'eau (IQE) effectué sur les paramètres physico-chimiques pour mettre en évidence l'évolution temporelle saisonnière et spatiale

Partie 1 : Généralités

Chapitre I : Qualité des eaux

Chapitre I : Qualité des eaux

I-1- Introduction :

L'eau à l'état naturel est souvent impropre à la consommation. Selon la qualité de l'eau prélevée, différentes étapes de traitement peuvent être nécessaires pour rendre l'eau potable et maintenir sa qualité jusqu'au robinet du consommateur. Dans ce chapitre, nous définissons l'eau en mentionnant ses caractéristiques chimiques et physiques et ses différents types, les séries de production et de traitement de l'eau potable sont présentées et à travers cela, nous avons également passé en revue les méthodes les plus importantes de contrôle industriel. L'évaluation de la qualité de l'eau de surface peut être un processus complexe qui implique de multiples paramètres susceptibles de provoquer divers stress sur la qualité globale de l'eau. Les indices de qualité de l'eau sont des outils pour déterminer les conditions de qualité de l'eau et, comme tout autre outil exige la connaissance des principes et des concepts de base de l'eau et les questions connexes. Dans ce sens, une description de cet indice de qualité en mentionnant les normes, règles et lois mathématiques utilisées dans le calcul, est décrite. Nous présentons les différentes étapes de calcul de cet indice comme élément clés dans la décision de la qualité de l'eau dans notre application[1]

I-2- Les analyses physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques utilisés pour évaluer la qualité globale des eaux

Température :

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels [2]

- Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH est un indicateur de pollution qui mesure la nature de l'eau. Les eaux naturelles ont un pH voisin de 7, le plus souvent compris entre 6 et 8. Plus le pH est bas, plus la solution est dite acide. Plusieurs espèces de poissons et autres organismes aquatiques ne peuvent pas supporter une eau trop acide [3].

- Conductivité : unité : $\mu\text{S}/\text{cm}$ à une température de 25°C

La conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau. La mesure de conductivité est réalisée en mesurant la conductance d'une eau entre 2 électrodes métalliques, elle est l'inverse de la résistivité électrique.

- Turbidité : unité : FNU

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne. La mesure se fait par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise dans l'échantillon d'eau et par une gamme étalon

- Dureté : unité : °F (degré français)

La dureté de l'eau est liée au lessivage des terrains traversés et elle correspond à la teneur en calcium (Ca) et en magnésium (Mg). On parle de dureté totale d'une eau ou de titre hydrométrique (TH). Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide minéral dilué

- Demande chimique en oxygène (DCO) : unité : mg/l dO₂

Cette mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale. Certaines matières organiques sont oxydées par du dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en milieu acide et en présence de catalyseur à l'argent. On procède ensuite au titrage de l'excès de dichromate de potassium avec une solution titrée de sulfate de fer (II) et d'ammonium.

- Demande Biochimique et biologique en oxygène après n jours (DBO) : unité : mg/l d'O₂ :

Ce test constitue un moyen de l'étude des phénomènes naturels de dégradation des matières organiques. Il s'agit de déterminer la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai après une incubation durant 5 jours à 20°C et dans l'obscurité. Méthode soit sans dilution ou avec dilution.

- Nitrites : unité : mg/l NO₂ :

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte.

- Nitrates : unité : mg/L

NO₃ Toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique

Les composés carbonés : il existe différents indicateurs de pollution organique. Les composés carbonés peuvent avoir différentes origines liées aux activités humaines, industrielles, agricoles ainsi qu'aux activités naturelles.[4]

- Le Fer :

La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite (FeS₂), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle.

Présent sous forme réduite (Fe²⁺), le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée => $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$

Les dalles de forages ou puits sont alors colorées en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois de la ressource car l'utilisation d'une eau chargée en fer pour la lessive colore le linge et, consommée directement ou sous forme d'infusion (thé...), peut avoir un goût prononcé.

- Oxygène dissous:

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmentent.

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. Au niveau de la mer à 20°C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression atmosphérique est de 8,8 mg/l d'O₂ à saturation. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par

des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau.[5]

- Les phosphates :

L'absorption quotidienne recommandée de phosphate va de 240 mg pour les nourrissons à 120 mg pour les femmes qui allaitent. Les eaux naturelles n'en contiennent pratiquement pas. Ils proviennent des pollutions : - fécales 1 à 2 gramme/personne / jour - agricoles par lessivage des engrais phosphatés. Bien que non toxiques, les phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon. Le taux limite est de 5 mg/L en P₂O₅ . (16)

- Ammonium :

En général, l'ammonium se forme sous l'effet de la décomposition naturelle des matières organiques. La présence d'ammonium est souvent liée à celle du nitrate et du nitrite. Dans l'eau, il peut apparaître à cause de déchets issus d'activités agricoles, industrielles ou domestiques.

- Bicarbonate :

Le **bicarbonate** fait partie des nombreuses substances minérales (au même titre que le calcium, le magnésium ou encore le sodium) naturellement présentes dans l'eau. L'eau peut contenir des quantités plus ou moins élevées de bicarbonate en fonction des types de sols qu'elle traverse (infiltration) ou sur lesquels elle s'écoule (ruissellement).

- Calcium :

Le calcium est un élément très répandu dans la nature. On le trouve dans presque toutes les eaux naturelles. Le calcium est bien connu pour son rôle majeur dans la croissance et l'entretien des os. Il est très important pour les enfants, mais aussi pour les femmes enceintes et les personnes âgées. La quantité quotidienne de calcium recommandée est de 1000 à 1200 milligrammes par jour. Des quantités élevées de calcium dans l'eau du robinet ne présentent aucun risque pour la santé. Elles peuvent

néanmoins altérer le goût de l'eau et favoriser l'apparition de tartre dans les appareils électro-ménagers.

La concentration maximale légalement autorisée de calcium dans l'eau est de 270 milligrammes par litre (mg/l). En 2016, la concentration en calcium de l'eau distribuée par in BW a varié de 72 à 150 mg/l.

Chlorure :

La concentration de l'eau en chlorure peut être plus ou moins élevée en fonction de la géologie des sols et de leur exposition aux pollutions. Le chlorure a des bienfaits pour notre santé : notre régime alimentaire devrait nous fournir environ 600 milligrammes de chlorure par jour. La concentration maximale légalement autorisée de chlorure dans l'eau est de 250 milligrammes par litre (mg/l). En 2016, la concentration de chlorure dans l'eau distribuée par in BW a varié de 13,3 à 51,4 mg/l.[6]

- Le titre alcalimétrique complet :

Le TAC mesure l'ensemble des anions suivants : OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- (éventuellement PO_4^{3-} et HPO_4^{2-} ainsi que HSiO_3^- – pour certaines eaux naturelles). La mesure du TAC se fait par dosage par une solution titrée d'acide en présence d'hélianthine. Si le pH d'une eau est inférieure à 8,2, le TA est nul et le TAC mesure la concentration en ions bicarbonate HCO_3^-

En l'absence de phosphates (ce qui est souvent le cas), il peut en principe exister dans les eaux non pures : du gaz carbonique dissous CO_2 , des ions hydrogénocarbonate HCO_3^- , des ions carbonate CO_3^{2-} et des ions hydroxydes OH^- des bases libres.[7]

Chapitre II

l'indice De Qualité De L'eau (IQE)

Chapitre II : l'indice De Qualité De L'eau (IQE)

II-1-Introduction :

Ce premier chapitre présente une introduction au domaine de la surveillance de l'eau propre et sa maîtrise en tant qu'élément important de la vie humaine, ses paramètres descriptifs selon les normes de qualité de l'eau potable, et son traitement ont été mentionnés. Les différentes technologies les plus importantes qui existent dans le monde dans le domaine de la surveillance ont été décrites. L'utilisation des techniques analytique et intelligente qui aident à obtenir une décision sur la qualité de l'eau, et c'est ce que nous avons étudié, à savoir l'indice de qualité de l'eau, sera l'objet principale de notre étude dans ce travail. Le chapitre suivant fera l'objet d'une mise en œuvre théorique d'une technique de l'intelligence artificielle basée sur l'apprentissage statistique et appliquées sur des données multi-sensorielles. L'objectif, rappelons-le encore une fois, est l'application de cette technique comme étant une solution dans le développement d'un modèle d'aide à la décision de la qualité de l'eau par reconnaissance de formes pour la prédiction de l'indice de la qualité de l'eau (IQE) .[8]

II-2-Historique :

L'indice de la qualité de l'eau (IQE) est une méthode simple utilisée comme partie de l'analyse de la qualité générale de l'eau à l'aide d'un groupe de paramètres réduisant les grandes quantités d'informations à un seul nombre, généralement sans dimension, d'une manière simple et reproductible . Cette méthode a été initialement proposée par Horton (1965) et Brown et *al.* (1970). Pour calculer cet indice, Horton (1965) a proposé la première formule qui tient compte de tous les paramètres nécessaires à la détermination de la qualité des eaux de surface et qui reflète l'influence composite de différents paramètres importants pour l'évaluation et la gestion de la qualité de l'eau (Liouet *al.*, 2004 ; Tyagiet *al.*, 2013). Cet indice a été utilisé pour la première fois pour mettre en évidence les changements physico chimiques susceptibles de se produire au cours de l'année et leur impact sur la qualité de l'eau d'alimentation (House et *al.*, 1987 ; House,1990).[9]

II-3- L'indice de qualité de l'eau (IQE) :

L'indice de la qualité de l'eau (IQE) est une méthode mathématique simple utilisée comme Partie de l'analyse de la qualité générale de l'eau à l'aide d'un groupe de paramètres réduisant les grandes quantités d'informations à un seul nombre, généralement sans dimension[3] .cet nombre de l'indice de la qualité des eaux (IQE) est représenté l'état de la qualité d'une eau. Il est variant entre 0 et 100 ou 100

représente une eau mauvaise qualité (eau non potable) et 0 une eau excellente qualité (eau potable). La méthode de l'indice de qualité des eaux souterraines et superficielles reflète l'influence composite des différents paramètres de qualité de l'eau sur sa potabilité. L'indice est calculé en utilisant les équations suivantes :

$$Wi = \frac{Ki}{Si}$$

$$Ki = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/Si)}$$

Wi : le poids de chaque paramètre selon son importance relative dans la qualité des eaux de boisson

OU :

K : constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante :

n: nombre de paramètres

Si : valeur maximale de la norme standard algérien des eaux de surface de chaque paramètre

en mg/l sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Qi) est calculée pour chaque paramètre en

divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Qi = \left(\frac{ci}{Si} \right) \times 100$$

Qi : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

Ci : la concentration de chaque paramètre en mg/l.

Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :[3]

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Qi \times Wi}{\sum_{i=1}^n Wi}$$

Nous pouvons classer la qualité de l'eau à Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE Tableau [10]

II-1- Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE

Classe d'IQE	Type d'eau	Usage possible
0 - 25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>25 - 50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>50 - 75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
>75 - 100	Très Mauvaise qualité	Irrigation
> 100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

Partie 2 : Matériel et méthodes

Chapitre III : Méthodologie et données utilisées

hapitre III : Méthodologie et données utilisées

Premier cas : foug EL-Khanga-Algérie

III-1-Matériel et méthodes

III-1-1-Zone d'étude

Le barrage Foug El-Khanga est construit en 1994, s'étale sur une superficie de 1735 km² avec un périmètre de 190 Km (Figure 1). Il est situé dans la partie Nord-Est du territoire algérien sur l'Oued Cherf au lieu dit Foug El-Khanga à mi-distance, entre Sedrata et Ksar Sbahi (20 km environ de part et d'autre), il constitue la région limitrophe de trois wilaya : Souk- Ahras ; Guelma et Oum El Bouaghi

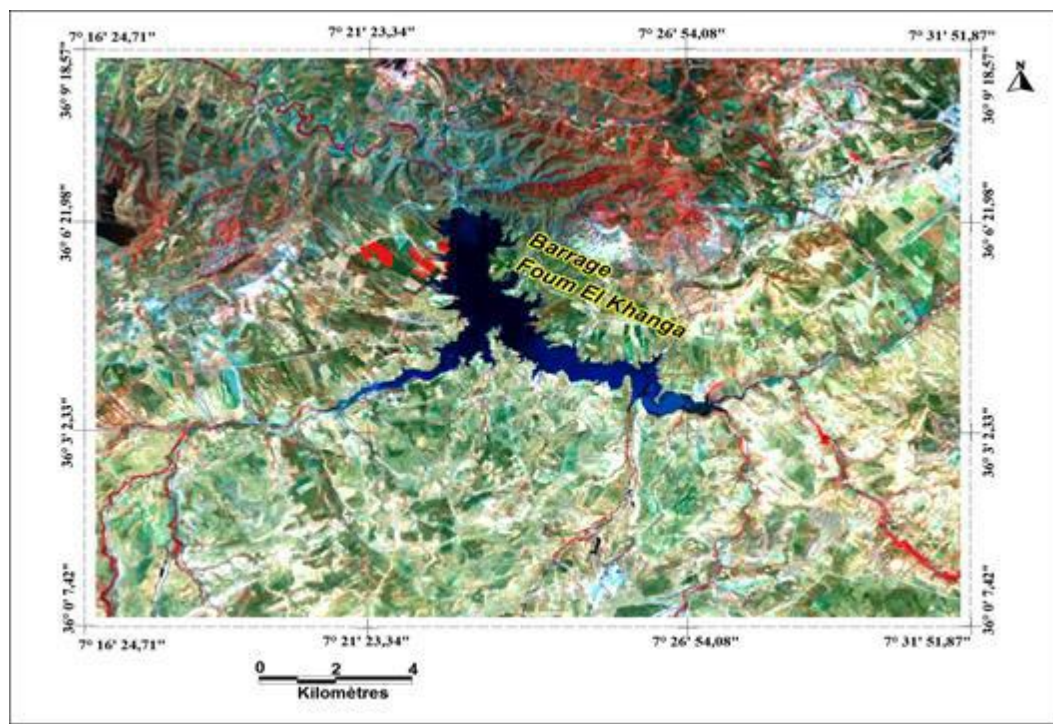


Figure III-1 : Situation géographique du barrage Foug El-Khanga.

III-1-2-Méthode d'étude :

Pour la réalisation de cette étude, nous avons effectué 12 prélèvements mensuelles tous le long de l'année 2014 dans des flacons en polyéthylène de capacité d'un litre, à une profondeur de 3 m d'après la digue de ce barrage. Tous flacons d'échantillonnage sont clairement identifiés et accompagnés d'informations suffisantes concernant la nature de l'échantillon et les raisons pour lesquelles l'examen est effectué et transporté dans une glacière avec un délai maximum de 8 heures avant l'analyse.

les caractéristiques physico-chimiques ont été établies selon les normes

AFNOR (1985) et Rodier (1984), celles-ci sont consignées dans le tableau 1.

Tableau III-1 : Caractéristiques physico-chimiques étudiées

lieu d'analyse	parametres effectué	nature de la method
Analyse in situ (paramètres physiques)	pH, température, conductivité électrique, turbidité et l'oxygène dissous	Méthode électro-métrique avec électrode combinée
Analyse in vitro (paramètres chimiques)	Azote ammoniacal Dureté (Ca+2+Mg+2) TAC et l'Alcalinité Sulfates Fer Chlorures Nitrites Nitrates Phosphates DBO DCO	Méthode Spectrométrique U.V Visible Méthode Tetrimetrique à l'EDTA Méthode Tetrimetrique à HCl Méthode Spectrométrique Méthode Spectrométrique à la phenanthroline-1,10 Méthode Tetrimetrique à Ag NO3 Méthode Spectrométrique Méthode au Salicylate de Sodium Méthode Spectrométrique DBO-mètre Oxydation par le bichromate de potassium

Pour déterminer la distribution des paramètres étudiés selon les mois d'étude, nous avons utilisé la méthode explicative par l'analyse en composantes principales (ACP). Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro-chimiques (Chaouki *et al.*, 2015 ; Lakhili *et al.*, 2015), en utilisant le logiciel STATISTICA (Stat Soft, version 10) pour WINDOWS.

III-1-3-Résultats et discussion

III-1-3-1-Analyse physico-chimiques

- Température d'eau :

Les valeurs de la température des 12 mois de l'année 2014 sont très variables, elles oscillent entre 7,2°C (mois de décembre) et 30°C au maximum (mois d'août), avec une moyenne de 16,37°C (Figure 2), elles sont voisines des températures ambiantes.

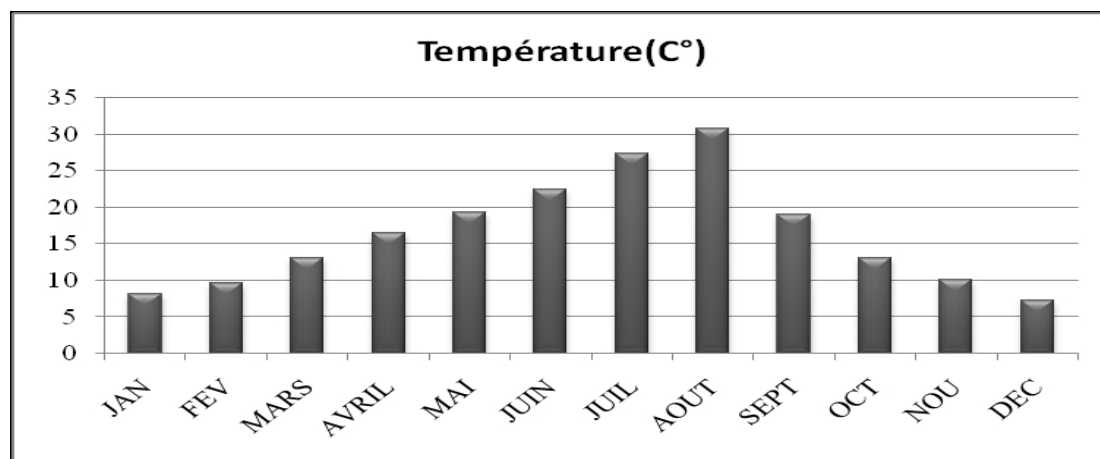


Figure III- 2 : Variation temporelle de la température.

Potentiel d'hydrogène (pH) :

Les valeurs du pH enregistrées durant la période d'étude sont au voisinage de la neutralité dans les deux mois avril et mai avec un caractère plus ou moins alcalin durant le reste de l'année (Figure 3) et un maximum noté au mois d'août (8,6).

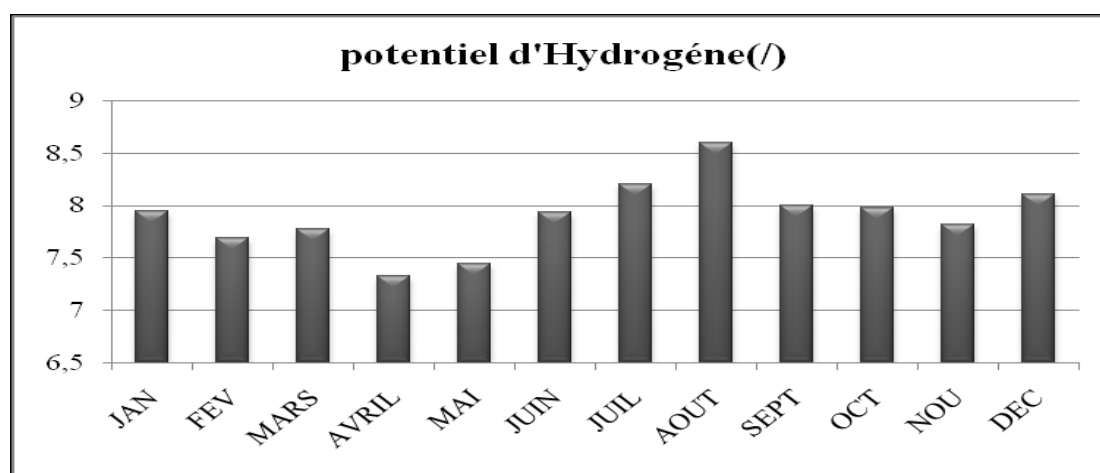


Figure III-3 : Variation temporelle du potentielle d'hydrogène

- Conductivité électrique :

Dans notre zone d'étude, toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Figure 4). Cette minéralisation importante traduit une forte teneur des cations et

anions dans cette eau due probablement au drainage des terrains triasiques très riches en sels et en gypse (la nature géologique des couches traversées).

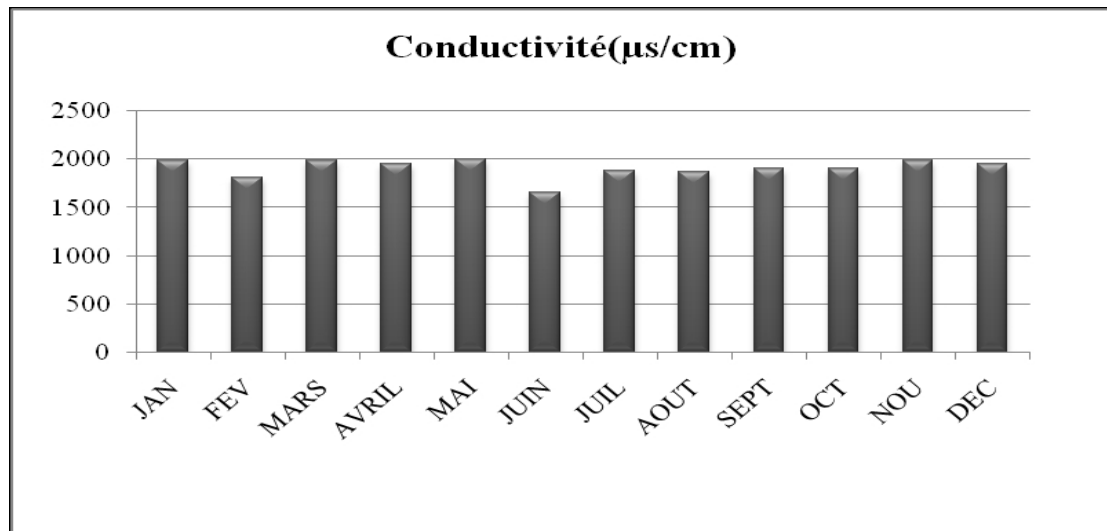


Figure III- 4 : Variation temporelle de la conductivité électrique.

- Magnésium :

Les valeurs enregistrées varient de 32,03 mg/l (mois d'avril) à 99,12 mg/l (mois de février), avec une moyenne de 60,90 mg/l (Figure 5).

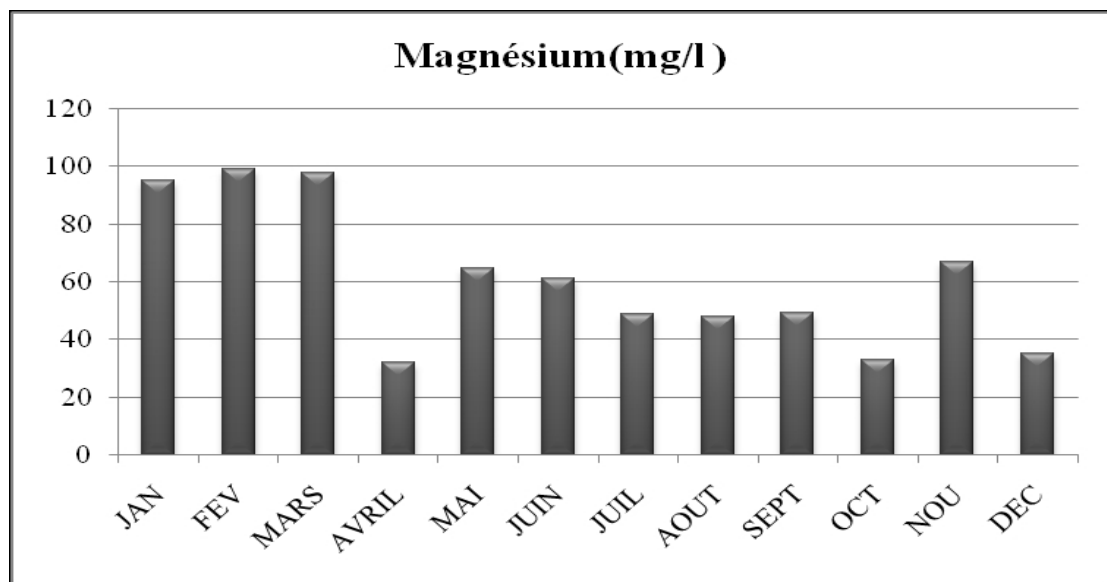


Figure III-5 : Variation temporelle du magnésium

- Chlorures :

Le suivi de l'évolution mensuel des chlorures dans le barrage de Fom El-Khanga permet de détecter d'importantes oscillations. En effet, les teneurs extrêmes maximale

et minimale sont de 639,05 mg/l (mois de février) et 433,78 mg/l (mois d'août) respectivement, avec une valeur moyenne de 522,20 mg/l (Figure 6).

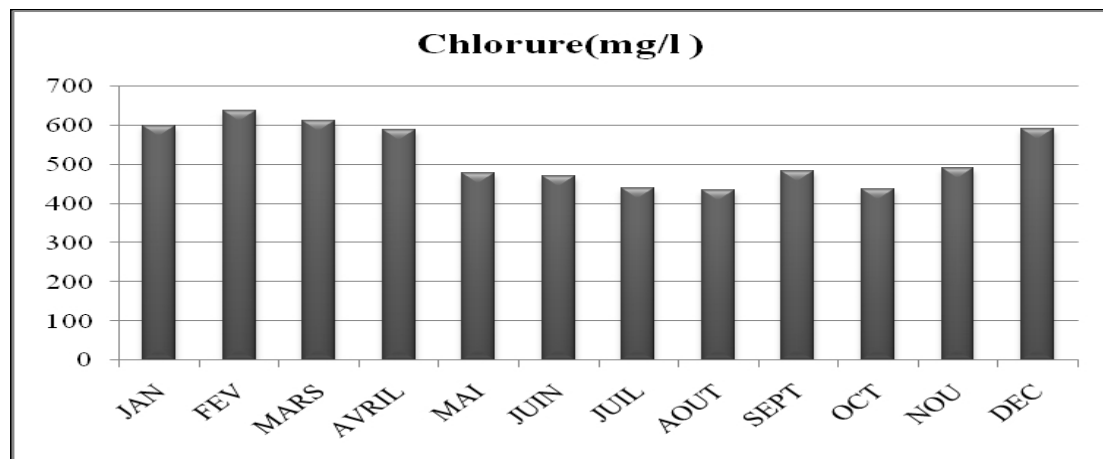


Figure III-6: Variation temporelle des chlorures.

- Sulfate :

Dans le milieu d'étude, la valeur moyenne de sulfate est de l'ordre 325,85 mg/l. La teneur du sulfate augmente en hiver (428,78 mg/l max en janvier) et diminue en été (139,5 mg/l min en juin) (Figure 7).

L'évolution mensuelle des teneurs des sulfates montrent des concentrations plus élevées en période humide que celles en période sèche. Ces fortes teneurs peuvent être dues aux activités agricoles.

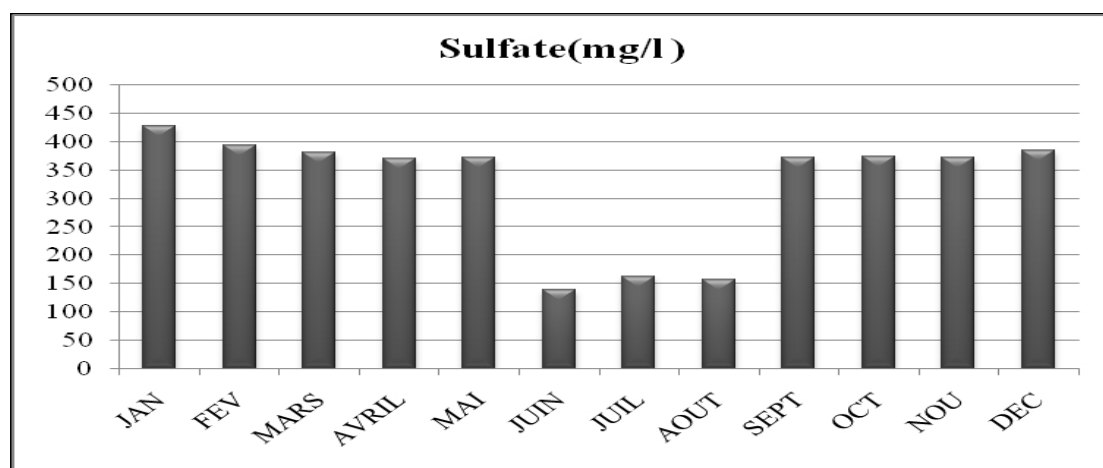


Figure III- 7: Variation temporelle des sulfates.

- Nitrate :

Les nitrates sont utilisés comme indicateur de pollution. Ils jouent le rôle de fertilisant pour les plantes qui assimilent l'azote sous la forme NO_3^- (Djermakoye, 2005).

L'histogramme des teneurs en nitrates (Figure 8) montre une légère variation qui oscille entre 7 mg/l (au mois de juillet) et 15,4 mg/l (au mois de janvier).

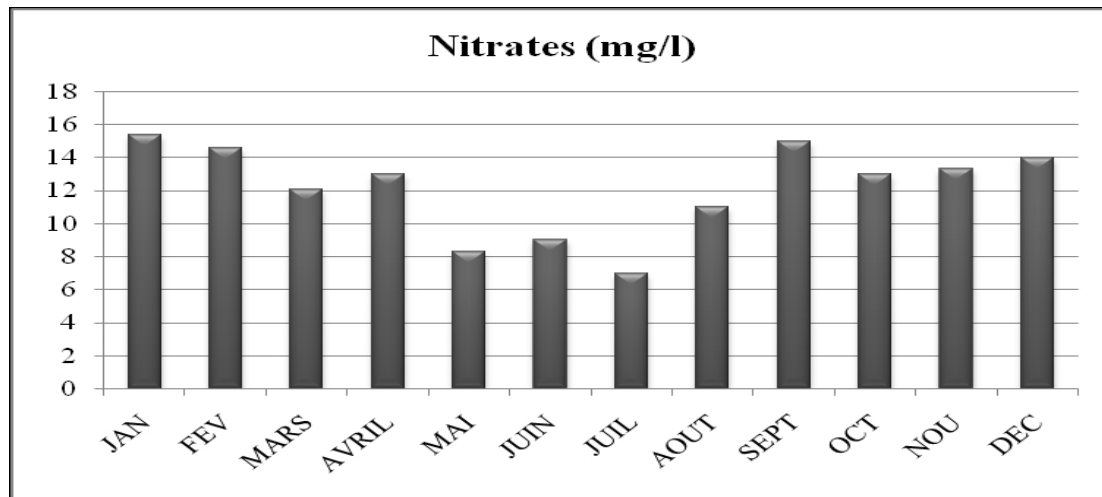


Figure III-8: Variation temporelle des nitrates.

- Ammonium :

L'histogramme des variations mensuelles des teneurs en ammonium (Figure 9) montre des fluctuations allant de 0,04 mg/l (au mois d'avril) à 0,57 mg/l (au mois de décembre).

La saison pluvieuse enregistre le taux le plus élevé en ammonium par rapport à la saison sèche .

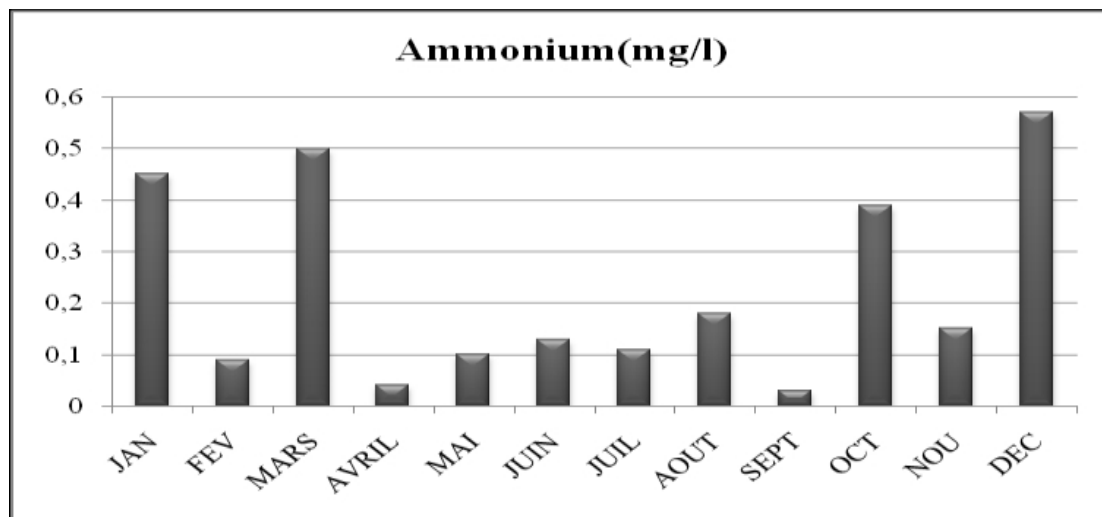


Figure III-9 : Variation temporelle de l'ammonium

- Fer :

La figure 18 montre, les variations de la concentration en ions de fer des eaux du barrage Foum El-Khanga. Ces teneurs sont très faibles, elles varient entre 0,01 mg/l (au mois de décembre) et 0,34 mg/l (au mois de février).

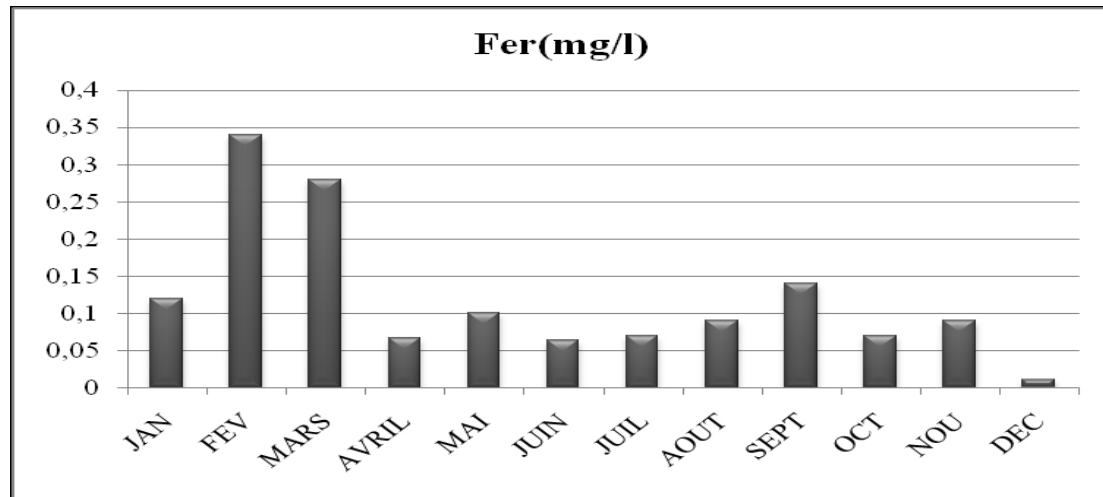


Figure 10: Variation temporelle du fer

- Demande biologique en oxygène :

Dans notre étude, les valeurs de la DBO varient entre 3 mg/l (au mois de mai) et 9 mg/l (au mois d'août), avec une moyenne de 5,33 mg/l (Figure 11).

L'augmentation des teneurs en DBO durant la période sèche (mois d'août) peut être expliquée par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes, dont l'activité s'intensifie avec la diminution de la vitesse d'écoulement et avec le réchauffement des eaux.

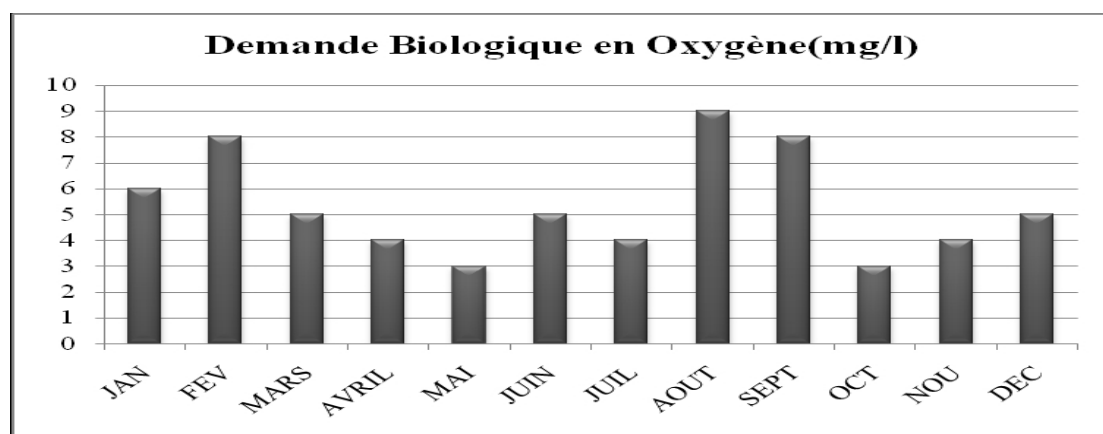


Figure III-11 : Variation temporelle de la demande biologique en oxygène.

- Demande chimique en oxygène :

Les variations des teneurs en DCO, au cours de notre suivi sont représentées par la figure 20. Elles oscillent entre 35 mg O₂/l (mois d'octobre) et 55 mg O₂/l (mois de février) avec une moyenne de 47 mg O₂/l. Au niveau du barrage Foum El-Khanga, la DCO évolue dans le même sens que le gradient de minéralisation.

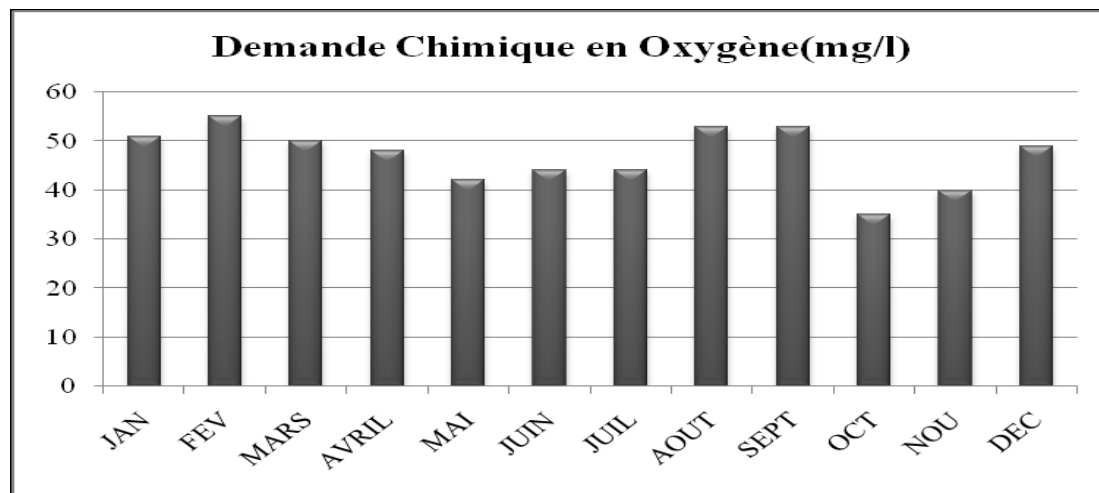


Figure III-12 : Variation temporelle de la demande chimique en oxygène.

III-1-3-2-Analyse en composante principale (ACP) :

Cette analyse a été réalisée sur un tableau de données centréesréduites (ACP normée) de 19 variables durant les 12 mois: Température de l'eau (Temp), pH, Oxygène dissous (O₂), Conductivité (Cond), Turbidité? (Tur), Dureté totale (TH), Calcium (Ca²⁺), Magnésium (Mg²⁺), Titre alcalimétrique complet (TAC), Bicarbonates (HCO₃⁻), Chlorures (Cl), Nitrates (NO₃⁻), Nitrites (NO₂⁻), Ammonium (NH₄⁺), Sulfates (SO₄³⁻),Phosphates (PO₄²⁻), le Fer (Fe⁺), Demande Biologique en Oxygène (DBO) et Demande chimique en Oxygène (DCO).[8]

III-1-4- Normes de la qualité des eaux :

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques.

Elle doit par ailleurs, être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable.

En outre l' eau potable doit contenir sans excès un certain nombre d' éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l' exclusion de ceux qui seraient l' indice d' une contamination ainsi que toute substance toxique [11].Ainsi pour notre étude nous nous référons aux normes de l' OMS dans les tableaux qui suivent :

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	<0.2 mg/l (peut aller jusqu'à 0.3mg/l dans une eau anaérobie)	Pas de contrainte
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
B	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluore	F	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	CaCO ₃		200 ppm
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercur	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 - 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Étain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu Toxique
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

figure III-13. Normes d'eau potable selon l'OMS (2006).[8]

En L' Algérie, il existe des normes nationales officielles pour la qualité de l' eau potable et sont actuellement mises en oeuvre avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé(OMS) relatives à la qualité de l' eau de boisson.[12]

Tableau III-2 Valeur maximal standard de certains paramètres qui utiliser dans cette étude

Parameters	Si (valeur maximale standard, Algérie)
pH	9
Conductivité (à 25 °C ms/cm)	2800
Temperature (°C)	25
Sulfates (mg/l)	40
Ammonium (mg/l)	4
Nitrate (NO ₃ mg/l)	50
Manganèse (mg/l)	1
Chlorure (Cl ⁻ mg/l)	600
Demande biochimique en oxygène(DBO) (mg/l O ₂)	7
Demande chimique en oxygène (DCO) (mg/l O ₂)	30
Fer (mg/l)	1

Les paramètres :

Une eau potable et/ou une eau destinée à fabrication d' eau potable doit respecter 48 paramètres parmi lesquels on compte 6 des 9 paramètres suivis dans l' eau potable. Dans cet étude on utilisés 12 paramètres différents, on classés en deux groupes des paramètres sont :

- **Paramètres physico-chimiques** : Comprennent le PH, conductivité, température, Turbidité, NTU.
- **Paramètres de pollution** : Comprennent l' Ammonium, Nitrite NO⁻², Calcium Ca²⁺, Chlorures Cl⁻, Bicarbonate HCO₃⁻, Dureté Totale TH CaCO₃, Dureté permanente CaCO₃, Titre alcalin complet CaCO₃.

III-1-5-Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE) :**Résultats du calcul de l'indice IQE et évaluation de la qualité des eaux**

Le poids relatif (W_i) de chaque paramètre physico-chimique et la constante de proportionnalité k sont calculés en premier lieu en utilisant les valeurs maximales de la norme standard Algérienne des eaux de surface (Norme Algérienne de qualité des eaux) des paramètres physicochimiques étudiés (Tab.3).

Tableau III-3 : Poids des paramètres physico-chimiques et norme Alegria de qualité des eaux de surface (Norme Algérienne de qualité des eaux).

Paramètres	S_i (valeur maximale standard, Algérie)	$1/S_i$	W_i
pH	9	0.111	0.042
Conductivité (à 25°C ms/cm)	2800	0.000	0.000
Température °C	25	0.040	0.015
Sulfates (mg/l)	400	0.002	0.000
Ammonium (mg/l)	4	0.250	0.096
Nitrate (NO ₃ mg/l)	50	0.020	0.007
Manganèse (mg/l)	1	1	0.384
Cl ⁻ (mg/l)	600	0.001	0.000
Demande biochimique en oxygène (DBO) (mg/l O ₂)	7	0.142	0.054
Demande chimique en oxygène (DCO) (mg/l O ₂)	30	0.033	0.012
Fer (mg/l)	1	1	0.384
		2.599	
	$K = 1 / \sum (1/S_i)$	0.384	

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau III-4 : Les valeurs Q_i pour chaque mois FOUM EL KHANGA

Parameters	S_i (valeur maximale standard, Algérie)	$1/S_i$	W_i	Q_i JAN	Q_i FEV	Q_i MARS	Q_i AVRIL
pH	9	0.111	0.042	87.777	84.444	85.555	81.111
Conductivité (à 25°C ms/cm)	2800	0.000	0.000	71.428	64.285	71.428	71.392
Température °C	25	0.040	0.015	32	36	52	64
Sulfates (mg/l)	400	0.002	0.000	107.5	97.5	92.5	90
Ammonium (mg/l)	4	0.250	0.096	11.25	2.25	12.5	0.75
Nitrate (NO ₃ mg/l)	50	0.020	0.007	30	29	24	26
Manganèse (mg/l)	1	1	0.384	9500	10000	9900	3000
Cl ⁻ (mg/l)	600	0.001	0.000	100	103.333	101.666	98.333
Demande biochimique en oxygène (DBO) (mg/l O ₂)	7	0.142	0.054	85.714	114.285	71.428	57.142
Demande chimique en oxygène (DCO) (mg/l O ₂)	30	0.033	0.012	166.666	183.333	166.666	160
Fer (mg/l)	1	1	0.384	13	34	27	6

Parameters	S_i (valeur maximale standard, Algérie)	$1/S_i$	W_i	Q_i MAI	Q_i JUN	Q_i JUIL	Q_i AOUT
pH	9	0.111	0.042	82.222	87.777	91.111	95.555
Conductivité (à 25°C ms/cm)	2800	0.000	0.000	71.428	57.142	71.357	71.321
Température °C	25	0.040	0.015	76	88	108	124
Sulfates (mg/l)	400	0.002	0.000	90	37.25	38	37.75
Ammonium (mg/l)	4	0.250	0.096	2.5	3	2.5	4.75
Nitrate (NO ₃)	50	0.020	0.007	16	18	14	22

mg/l)							
Manganèse (mg/l)	1	1	0.384	6500	6000	5000	5000
Cl ⁻ (mg/l)	600	0.001	0.000	80	80	83.33	83.33
Demande biochimique en oxygène(DBO) (mg/l O ₂)	7	0.142	0.054	42.857	71.428	57.142	128.571
Demande chimique en oxygène (DCO) (mg/l O ₂)	30	0.033	0.012	136.666	143.333	143.333	173.333
Fer (mg/l)	1	1	0.384	10	6	7	9

Parameters	<i>S_i</i> (valeur maximale standard, Algérie)	1/ <i>S_i</i>	<i>W_i</i>	<i>Q_i</i> SEPT	<i>Q_i</i> OCT	<i>Q_i</i> NOU	<i>Q_i</i> DEC
pH	9	0.111	0.042	88.888	88.888	85.555	91.111
Conductivité (à 25°C ms/cm)	2800	0.000	0.000	71.357	71.357	71.428	71.392
Température °C	25	0.040	0.015	112	52	40	28
Sulfates (mg/l)	400	0.002	0.000	90	90	90	95
Ammonium (mg/l)	4	0.250	0.096	0.5	9.75	3.75	14.5
Nitrate(NO ₃ mg/l)	50	0.020	0.007	30	26	26	28
Manganèse (mg/l)	1	1	0.384	5000	3000	6500	3500
Cl ⁻ (mg/l)	600	0.001	0.000	80	70	83.333	100
Demande biochimique en oxygène(DBO) (mg/l O ₂)	7	0.142	0.054	114.285	42.857	57.142	71.428
Demande chimique en oxygène (DCO) (mg/l O ₂)	30	0.033	0.012	173.333	116.666	133.333	163.333
Fer (mg/l)	1	1	0.384	14	6	9	2

Finally the global index of water quality is calculated in the following table :

Tableau III-5 : Les valeurs IQE pour chaque mois FOUM EL KHANGA

Mois	IQE	Classe de qualité
Janvier	20.82	Excellent qualité
Février	29.94	Bon qualité
Mars	25.92	Bon qualité
Avril	13.15	Excellent qualité
Mai	15.32	Excellent qualite
Juin	16.08	Excellent qualité
Juillet	15.28	Excellent qualité
Aout	14.13	Excellent qualité
Septembre	21.34	Excellent qualité
Octobre	11.46	Excellent qualité
Novembre	15.45	Excellent qualité
Décembre	6.64	Excellent qualité

- Discussion des résultats :

The results of Foum El-Khanga were coherent with the conclusions of Jerônimo et al. Who showed that the cold season is strangely linked to electrical conductivity, total hardness, pH, dissolved oxygen and iron.

Whereas the warm season is strangely linked to ammonium, alkalinity and temperature

The results of physical and chemical analyses also show that the water of this important natural mineralization is characterized as follows

- a significant mineralization of these waters due to the high values of electrical conductivity (around 1900 $\mu\text{S}/\text{Cm}$), chlorides (522,20 mg/l), calcium (203,1 mg/l) and sulfate (428,78 mg/l).

Deuxième cas : AIN SALAMA - MAROC

III-2-Matériel et méthodes

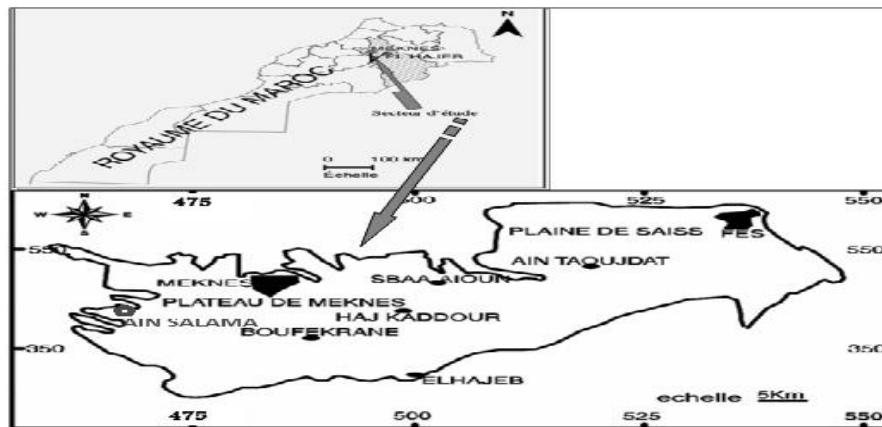
III-2-1-Zone d'étude :

La source Ain Salama (Figure 14) fait partie du plateau de Meknès qui occupe la partie Ouest du bassin Meknès- Fès.

La géologie de la région regroupe une mosaïque de zone aux caractères très variés appartenant à des domaines structuraux distincts.

En effet le bassin de Saïss est un vaste synclinal dissymétrique de direction Est-Ouest. Il est encadré par les rides pré-rifaines au nord et les affleurements du causse moyen atlasique au sud. A l'Ouest il est limité par la vallée Oued Beht et ses affleurements paléozoïques qui font parties de la meseta occidentale, et enfin l'Est par le col de Touabar qui sépare le bassin du couloir Fés-Taza (ABHS,2007).[9]

Figure III-14 : Localisation géographique d'AIN SALAMA



III-2-2-Méthode d'étude :

Echantillonnage

Pour l'étude qualitative des eaux de la source les prélèvements ont été réalisés à la tête du forage avec une fréquence de 30 jours sur une période de 12 mois (Septembre 2010 à Août 2011) pour les paramètres physico-chimiques et avec une cadence de 60 jours sur une période de 24 mois (Septembre 2009 à Août 2011) pour les paramètres bactériologiques

III-2-2-1-Analyses physico-chimiques et bactériologiques :

Les méthodes utilisées lors des analyses physico-chimiques suivent de près celles adoptées par l'ONEP d'après le guide des méthodes d'essai de Janvier 1990. Les échantillons d'eau sont prélevés dans des bouteilles de 1,5L afin de mesurer 11 paramètres de pollution à savoir la température (°C), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité (C.E.), la turbidité (NTU), la dureté totale (TH), les chlorures (Cl⁻), l'oxygène dissous (O₂), les sulfates (SO²⁻), les nitrates (NO⁻), les nitrites (NO⁻), et les silicates (SiO²⁻).

Pour l'analyse bactériologique, le prélèvement des eaux est effectué dans des flacons stériles d'une capacité de 0,5L et le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale : coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF), et *Clostridium perfringens* (CP) a été réalisé selon les techniques décrites par Rodier (1984).

Résultats et discussion

III-2-2-2-Analyse physico-chimiques

- La température de l'eau :

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. Pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes). (Rodier, 1984).

Dans la zone d'étude, nous avons remarqué que la température indique les 39°C comme valeur moyenne ce qui montre que AIN SALAMA est une source thermale par excellence, par excellence, (Figure 15).

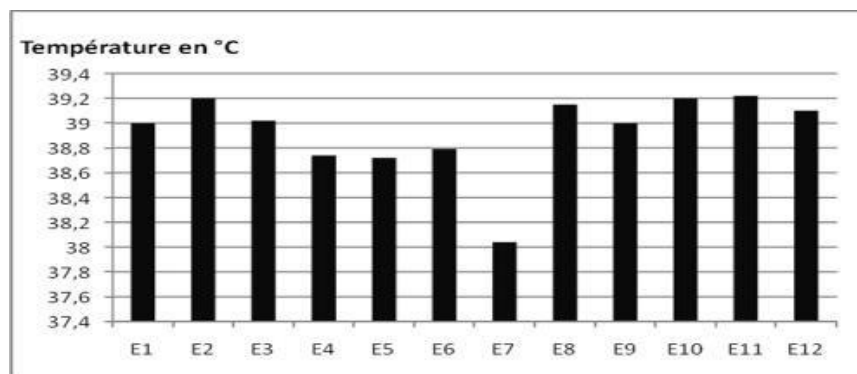


Figure III-15 : Variations annuelles de la température

- Le Potentiel d'hydrogène (pH) :

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau.

Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman et al., 1996), pour ce qui est des eaux de la source AIN SALAMA (Figure 16) elles ne montrent pas de variations notables et ont tendance d'être basiques.

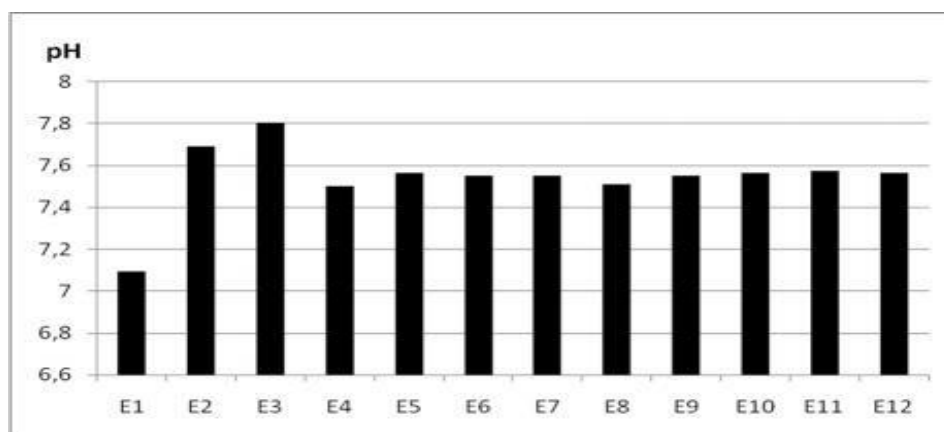


Figure III-16: Variations annuelles du potentiel hydrogène.

- La conductivité électrique :

Les valeurs enregistrées pendant les analyses sont importantes et semblent dépasser les normes préconisées (Figure 17) ; ce qui reflète la forte minéralisation de la source thermale et fait que les eaux AIN SALAMA doivent être consommées avec modération.

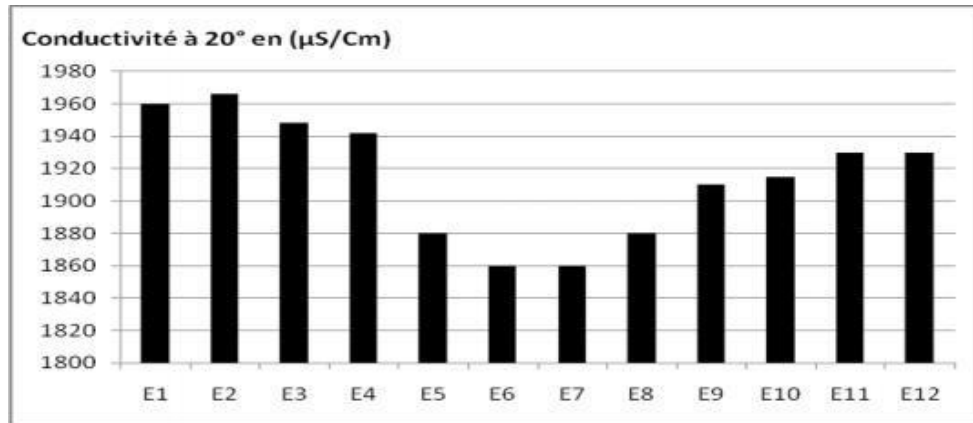


Figure III-17 : Variations annuelles de la Conductivité électrique.

- La turbidité :

La valeur obtenue est égale à 0,46 NTU qui est alors acceptable selon la norme (NM 03.07.001 /2006).

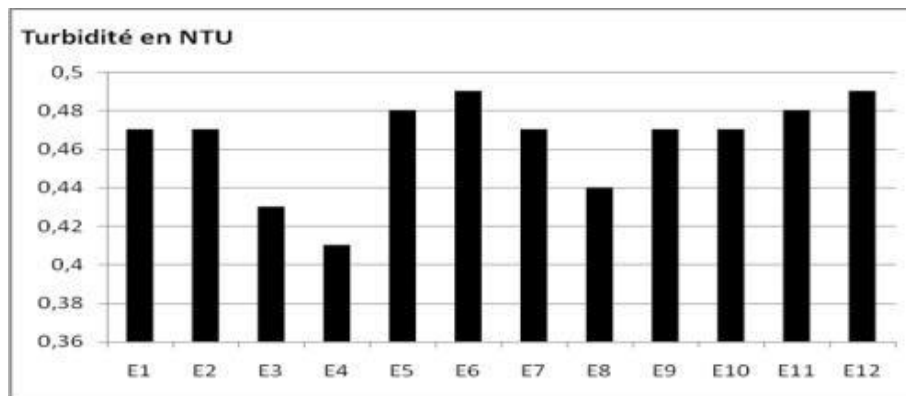


Figure III-18 : Variations annuelles de la turbidité.

- L'oxygène dissous :

La teneur moyenne dans les eaux d' AIN SALAMA est de l'ordre de 6.33mg/l (figure 19) et les eaux de la source se montrent alors bien oxygénées, les eaux de la source peuvent être classées alors dans la catégorie des eaux de bonne qualité (NM 03.07.001 /2006).

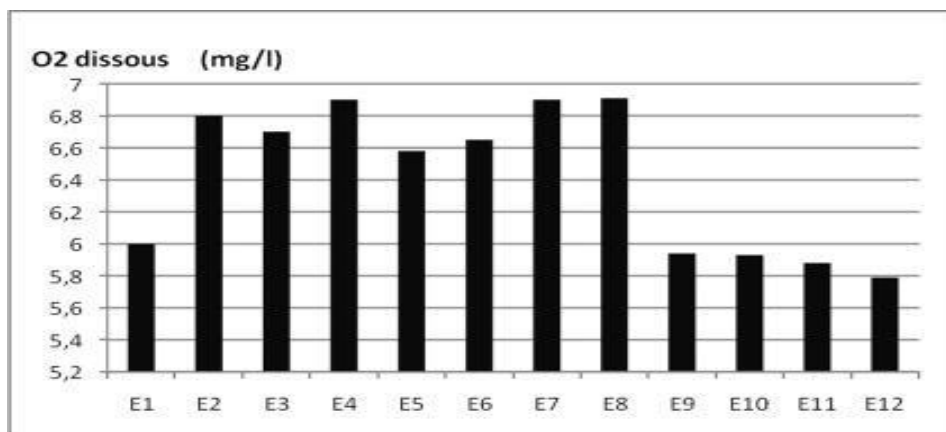


Figure III-19 : Variations annuelles des teneurs en oxygène dissous dans les eaux AIN SALAMA

- Les sulfates :

La valeur moyenne des sulfates dans les eaux AIN SALAMA est proche de (50 mg/l) (Figure 20) ce qui montre que les eaux en question sont conformes aux normes en vigueur (NM 03.07.001 /2006).

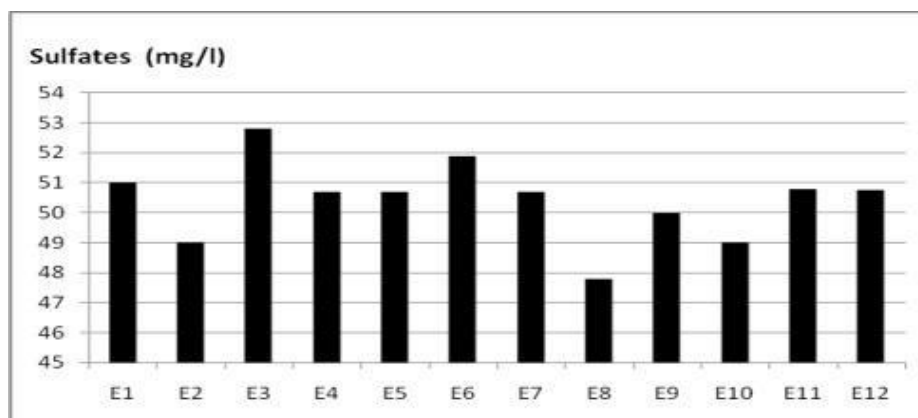


Figure III-20: Variations annuelles de la teneur en Sulfates dans les eaux AIN SALAMA.

- Les nitrates :

les valeurs enregistrées lors des analyses oscillent entre un minima de 5mg/l (E5) et un maxima de 5,8 mg/l (E1, E6, E11) (figure 21) et qui restent d'ailleurs inférieures à la valeur admissible par les normes marocaines.

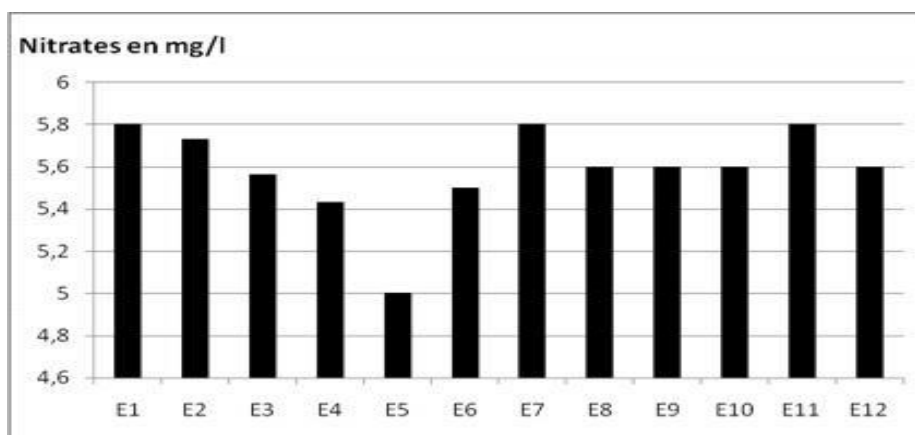


Figure III-21 : Variations annuelles de la teneur en nitrates dans les eaux AIN SALAMA

- Les nitrites :

Dans le cas comme le notre la concentration des nitrites est nulle (Figure 22) ce qui prouve que la source Ain Salama est bien protégée des apports en nitrites (NM 03.07.001 /2006)

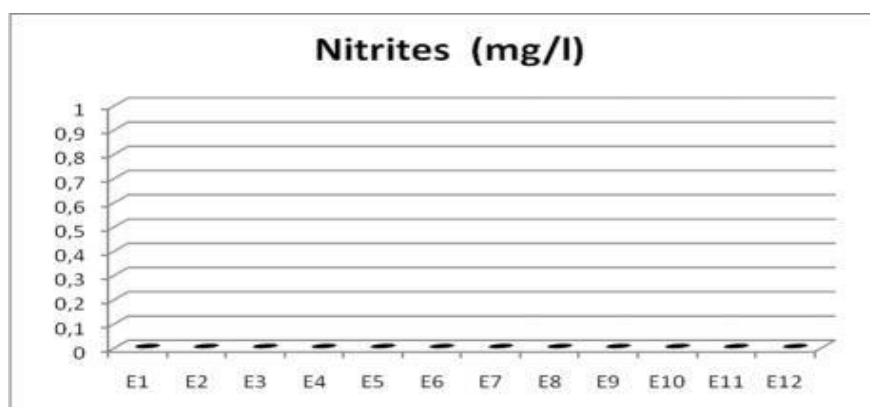


Figure III-22 : Variations annuelles de la teneur en nitrites dans les eaux AIN SALAMA

- Les chlorures :

La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium. Selon les normes marocaines, la concentration en cet élément ne devrait pas dépasser les 300 mg/l. La teneur en chlorures des eaux Ain Salama est extrêmement élevée (533 mg /l) chose liée principalement à la nature des terrains traversés (Bremond et Vuichard, 1973) ce qui concorde avec les résultats des autres analyses ayant mentionnées l'augmentation frappante des chlorures et bien évidemment la qualité moyenne de l'eau hydrothermale (Figure 23).[9]

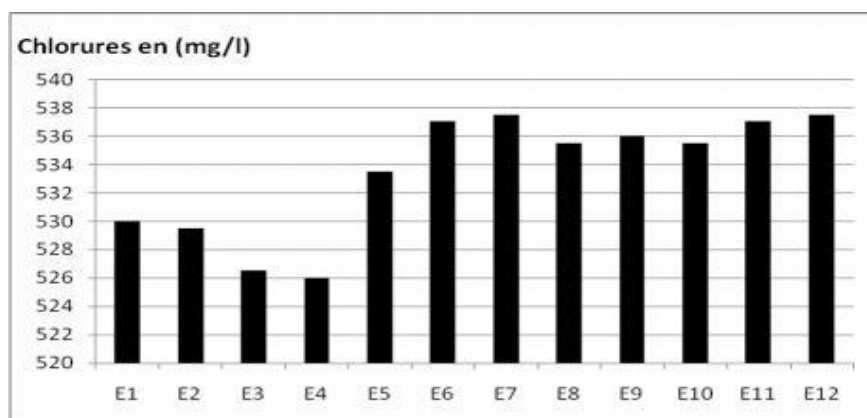


Figure III-23 : Variations annuelles des chlorures dans les eaux AIN SALAMA

III-2-3-Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE) :

En L' Marocco, il existe des normes nationales officielles pour la qualité de l' eau potable et sont actuellement mises en oeuvre avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé(OMS) relatives à la qualité de l' eau de boisson.[14]

Tableau III-6 : Valeur maximal standard de certains paramètres qui utiliser dans cette étude

Parameters	Si (valeur maximale standard, Maroc)
Ph	9
Conductivité (à 25 °C ms/cm)	2700
Temperature (°C)	30
Sulfates (mg/l)	250
Turbidité (NTU)	5
Nitrate (NO ₃ mg/l)	50
Chlorure (Cl ⁻ mg/l)	750
Nitrites (mg/l O ₂)	50
O ₂ dissous (mg/l)	5

Résultats du calcul de l'indice IQE et évaluation de la qualité des eaux

Le poids relatif (Wi) de chaque paramètre physico-chimique et la constante de proportionnalité k sont calculés en premier lieu en utilisant les valeurs maximales de

la norme standard marocaine des eaux de surface (Norme Marocaine de qualité des eaux, 2002) des paramètres physicochimiques étudiés (Tab.3).

Tableau III-7: Poids des paramètres physico-chimiques et norme marocaine de qualité des eaux de surface (Norme Marocaine de qualité des eaux, 2002).

Parameters	S_i (valeur maximale standard, Maroc)	$1/S_i$	W_i
Ph	9	0.111	0.188
Conductivité (à 25 °C ms/cm)	2700	0.000	0.000
Temperature (°C)	30	0.033	0.056
Sulfates (mg/l)	250	0.004	0.006
Turbidité (NTU)	5	0.200	0.338
Nitrate (NO ₃ mg/l)	50	0.020	0.033
Chlorure (Cl ⁻ mg/l)	750	0.003	0.002
Nitrites (mg/l O ₂)	50	0.020	0.033
O ₂ dissous (mg/l)	5	0.200	0.338
		0.591	
		$K = 1 / \sum (1/S_i)$	
		1.692	

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau III-8 : Les valeurs Q_i pour chaque mois AIN SALAMA

Parameters	Q_i (sep10)	Q_i (oct10)	Q_i (nov10)	Q_i (dec10)	Q_i (jan11)	Q_i (fiv11)	Q_i (mars11)	Q_i (avril11)
pH	88.888	85.555	86.666	83.333	83.888	83.888	83.888	83.333
Conductivité (à 25 °C ms/cm)	72.592	72.777	72.037	71.851	69.629	68.888	68.888	69.629
Temperature (°C)	130	130.666	130	129.333	129	129.333	126.666	130.633
Sulfates (mg/l)	20.4000	16.6	21.200	20.200	20.200	20.8	20.200	19.200
Turbidité	9.4	9.4	8.6	8.2	9.6	9.8	9.4	8.8

(NTU)								
Nitrate (NO3 mg/l)	11.6	11.4	11.1	10.8	10	11	11.6	11.2
Chlorure (Cl mg/l)	70.666	70.533	70.140	70.133	71.066	71.6	71.6	71.333
Nitrites (mg/l)	0	0	0	0	.0	0	0	0
O2 dissous (mg/l)	120	136	133	137	132	132.4	137	137

Parameters	Qi (mai11)	Qi (juin11)	Qi (juil11)	Qi (aout11)
pH	84.222	84.111	84.333	84.333
Conductivité (à 25 °C ms/cm)	71.000	71.037	71.481	71.481
Temperature (°C)	130	130.666	130.666	130.500
Sulfates (mg/l)	20	19.600	20.200	20.200
Turbidité (NTU)	9.4	9.4	9.6	9.8
Nitrate (NO3 mg/l)	11.2	11.2	11.6	11.2
Chlorure (Cl mg/l)	71.466	71.333	71.6	71.6
Nitrites (mg/l)	0	.0	0	0
O2dissous (mg/l)	117	117	116.6	116

Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé dans le tableau suivant :

Tableau III-9 : Les valeurs IQE pour chaque mois AIN SALAMA

Mois	IQE	Classe de qualité
Septembre 2010	72.42	Mauvaise qualité
Octobre 2010	73.56	Mauvaise qualité
Novembre 2010	73.77	Mauvaise qualité
Décembre 2010	73.04	Mauvaise qualité
Janvier 2011	71.75	Mauvaise qualité
Février 2011	72.03	Mauvaise qualité
Mars 2011	73.32	Mauvaise qualité
Avril 2011	73.32	Mauvaise qualité
Mai 2011	66.80	Mauvaise qualité
Juin 2011	66.88	Mauvaise qualité
Juillet 2011	66.87	Mauvaise qualité
Aout 2011	70	Mauvaise qualité

- Discussion des résultats :

La qualité globale des eaux souterraines de la région est généralement moyenne et semble être dégradée (tendance à la nitratisation). En effet les rejets domestiques, considérablement évolués en quantité et en qualité, sont enrichies de produits plus complexes (matières organiques, phosphates, nitrates,...) peuvent polluer les eaux souterraines, en plus d'herbicides et d'autres produits phytosanitaires utilisés essentiellement en agriculture.

Selon les analyses de M. Ghazali et selon les paramètres de l'indice de qualité des eaux souterraines, l'eau apparaît à la source :

* Une conductivité électrique assez élevée (proche de 2 2000 / CM) qui permet d'évaluer la minéralisation totale et d'estimer le total des sels hydrosolubles qui, à cet égard, s'avèrent très élevés, ce qui peut affecter la composition minérale de l'eau. Par conséquent, il est strictement interdit d'utiliser une telle eau pour les nourrissons dont l'organisme ne peut pas faire face à une surcharge minérale, et pour les personnes souffrant d'insuffisance cardiaque sévère ou d'hypertension artérielle.

* Concentration élevée en chlorures (532,5 mg / l) reflétant, entre autres, la qualité moyenne de l'eau oculaire de Salama.

D'autres paramètres tels que les sulfates, les silicates,... Etc.,

Conclusion Générale :

Analyse de la qualité de l'eau du barrage de FOM Al khanja Révéler la grande minéralisation de ces eaux en raison des valeurs élevées de Conductivité électrique L'analyse de la composante principale naturelle permet d'identifier des corrélations La liste entre la saison sèche qui se caractérise par une hausse de Température, ammonium et alcalin, tandis que, pendant la saison .Ce sont les charges minérales et organiques qui sont les plus Grand.

Quant à Ain Salama selon notre analyse et selon les normes de l'indice de qualité de l'eau Offres d'eau de source souterraine :

A une conductivité électrique assez élevée (environ $2000\mu / \text{CM}$) qui permet d'évaluer la minéralisation totale et d'estimer Sels hydrosolubles totaux montrant, à cet égard, très Quelque chose qui sera en mesure d'influencer la composition minérale de la

Eau.

Par conséquent, cette eau est strictement interdite aux nourrissons qui L'organisme ne peut pas s'adapter à la surcharge minérale, et les personnes qui A une insuffisance cardiaque sévère ou une pression artérielle élevée Artères labiles.

À ce jour, la qualité bactériologique de l'œil de Salama est, en général, On est loin de la pollution mais cela ne nous empêche pas de prévoir Développement de communautés bactériennes aimant la salinité et tolérantes au sel En particulier que le degré de salinité augmente d'année en année sans nier Forte probabilité de l'existence de légion les dans lesquelles coexistent des sources thermales.

Bibliographie

- [1] B.SAJIA,D.AHLEM, Contribution à l'étude et l'évaluation des indices de qualité des eaux par l'élaboration d'un outil décisionnel intelligent, Université de Msila, mémoire master 2020/202 , p 5
- [2] HAMED. M et al, 2012 Etude des propriétés physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar. Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie. Université de Bechar. pp 7, 9.
- [3] M. D. D. E. P, 2006 ; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.
- [4] LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL D'ANALYSES,LOZERE.FR,P1-5
- [5] Fiche a été rédigée par l'équipe technique du RéFEA
- [6] <https://www.inbw.be/parametres-et-normes>.
- [7] CONTROLE D'UNE EAU, TS2 TM, mars 2010
- [8] A.Amel, K.Nouha, B.Chahinez,A. Adeli ,Univ Md Chérif Messadia Souk Ahras, Fac. SNV, Laboratoire des Ecosystèmes Aquatiques et Terrestres, Bp 1553, Route d'Annaba, Souk Ahras, Algérie.
- [9] European Scientific Journal January 2020 edition Vol.16, No.2 ISSN: 1857- 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- [10] Mohamed Imed KHELIL, Mohamed LADJAL, Hybrid Predictive Models for Water Quality Assessment Based on Water Quality Index Using ANN, LSSVM and multivariate statistical Methods, ONLINE 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED ANALYSIS AND MATHEMATICAL MODELLING (ICAAMM2021), June 11 -13, 2021, Istanbul, TURKEY, Id: 9246 (Accepted for communication).
- [11] K.COULIBALY, étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako, UNIVERSITÉ DE BAMAKO, Avril 2005.
- [12] JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 34, 19 juin 2011
- [13] Bulltan officiel ,N°5062,30 1423 ramadane (5/12/2002)