République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Amar Telidji- Laghouat

MEMOIRE DE MASTER

Présenté Par : Chelali Amar

DOMAINE : Sciences et technologies

FILIERE : Hydraulique

OPTION : Ressources hydrauliques

Thème :

Cartographie de la qualité des eaux souterraines de la ville d'Aflou par l'utilisation de l'indice de la qualité des eaux (IQE)

Jury de Soutenance :

Nom et Prénom	Qualité
YAMANI K	Présidente
HAMLET A	Examinateur
SEKKOUM M	Promoteur
STAMBOUL M	CO-Promoteur

Année universitaire : 2019/2020

Dédicace

Je tiens avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :

A l'être le plus cher de ma vie, ma mère.

A celui qui m'a fait de moi un homme, mon père.

A mes chers Frères et sœur.

A tous mes amis de promotion de 2eme Année Master en Hydraulique

Toute personne qui occupe une place dans mon cœur

A tous les membres de ma famille

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je souhaite avant tout remercier mon promoteur de mémoire, Mr M Sekkoum, pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence m'a grandement stimulé.

Je désire aussi remercier les professeurs du département de génie civile de l'université de Amar Telidji - Laghouat, et les professeurs du département des sciences du Centre Universitaire – El Bayadh qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je remercie également l'ensemble des membres du jury, qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir étudier avec attention mon travail : Mme K Yamani et Mr A Hamlet pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce mémoire et pour m'avoir fourni une multitude de pistes de recherche pour les prochaines années.

Je tiens ensuite à exprimer toute ma gratitude envers le personnel administratif de l'Algérienne des eaux en générale et envers Mr M Henniche en particulier pour son aide et ses conseils pour terminer ce travail.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Sommaire

Dédicace ..... A
Remerciements ..... B
Sommaire C
Liste des tableaux ..... F
Liste des figures ..... G
Abréviations ..... H
Liste des unités I
Résumé ..... J
I. INTRODUCTION GENERALE: 1
I .1 Introduction : 1
I.2 Problématique 2
I. 3 Le but d'étude 2
CHAPITRE II : APERCU BIBLIOGRAPHIQUE 4
II .1 Ressources en eaux souterraines 4
II .2 Qualité physico-chimique des eaux souterraines 4
II .3 Qualité physico-chimique des eaux souterraines en Algérie 5
II .4 Description des Paramètres physicochimiques de l'eau 6
II .4.1 pH 6
II .4.2 Calcium 7
II .4.3 Sodium 7
II .4.4 Potassium 8
II .4.5 Magnésium 9
II .4.6 Chlorure 9
II .4.7 Sulfates 10
II .4.8 Bicarbonate 10
II .4.9 Nitrate et Nitrite 11
II .4.10 TDS 11
II .4.11 La conductivité électrique 11
II .5 Normes de potabilité de l'eau 11
II .6 Indice de la qualité d'eau 13
II .7 Système d'information géographique 13
II .8 Historique de système d'information géographique 13
II .9 Analyse spatial en SIG 15
II .10 Interpolation spatial en SIG 16
II .10.1 Méthode d'Inverse Distance Weighted 17

II .10.2 Kriging 17
III .MATERIELS ET METHODES 19
III.1.Description de la zone d'étude 19
III.1.1. Situation géographique 19
III.1.2. Population 20
III.1.3. Climat 20
III.1.4 Température 20
III.1.4 Les précipitations. 21
III.1.4.1 Représentation annuelle des précipitations. 22
III.1.4.2 Représentation mensuelle des précipitations. 22
III.1.5 Géologie 23
III.1.5.1 Stratigraphie 23
III.2 Les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau 27
III.2.1 pH 27
III.2.2 Calcium 27
III.2.3 Sodium 27
III.2.4 Potassium 28
III.2.5 Magnésium 28
III.2.6 Chlorure 29
III.2.7 Sulfate 29
III.2.8 Bicarbonate 29
III.2.9 Nitrate 30
III.2.10 Conductivité électrique 31
III.3 L'indice de la qualité d'eau CCME 31
IV.RESULTATS ET DISCUSSIONS 35
IV.1 Variation des paramètres de la qualité des eaux souterraines 35
IV.1.1 pH 37
IV.1.2 Conductivité électrique 37
IV.1.3 Calcium 38
IV.1.4 Magnésium 39
IV.1.5 Sodium 39
IV.1.6 Potassium 40
IV.1.7 Chlorure 41
IV.1.8 Sulfate 41
IV.1.9 Bicarbonate 42
IV.1.10 Nitrate 43
IV.2 Diagramme de Piper 43
IV.3 Diagramme de Schoeller Berkaloff 45

IV.4 Calcul de l'indice de la qualité de l'eau 46
IV.5 Variation temporelle de la qualité de l'eau 47
IV.4 Cartographie de la qualité de l'eau 47
V.1 CONCLUSION ET RECOMANDATIONS 49
V.1 Conclusion 49
V.2 Recommandations 50
Références bibliographiques 51
Annexes 56

Liste des tableaux

Tableau 1 Normes Algériennes et de l'OMS de potabilité de l'eau [52]..... 12
Tableau 2: Coordonnées géographique de station pluviométrique. 20
Tableau 3: Tableau récapitulatif d'analyse physicochimique des eaux souterraines de la ville d'Aflou 36
Tableau 4 : Résultats de calcul du CCME IQE 46

Liste des figures

Figure 1 : localisation de la région etudiée. ---------- 19
Figure 2 : Variation mensuelle de la température (ANRH 1990-2011). ---------- 21
Figure 3 : Variation annuelle de la précipitation (ANRH 1990-2011). ---------- 22
Figure 4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Aflou (ANRH 1990-2011).---------- 23
Figure 5 : Coupes Géologiques. (Nouar, 1992).---------- 26
Figure 6 concentrations moyennes de pH---------- 37
Figure 7 valeurs moyennes de Conductivité électrique ---------- 38
Figure 8 concentrations moyennes de Calcium ---------- 38
Figure 9 concentrations moyennes de Magnésium ---------- 39
Figure 10 Concentrations moyennes de Sodium---------- 40
Figure 11 Concentrations moyennes de Potassium ---------- 40
Figure 12 Concentrations moyennes de chlorure ---------- 41
Figure 13 Concentrations moyennes du Sulfate ---------- 42
Figure 14 Concentrations moyennes de Bicarbonate---------- 42
Figure 15 Concentrations moyennes de Nitrate ---------- 43
Figure 16 : diagramme de piper de la nappe du synclinal d'Aflou ---------- 44
Figure 17Diagramme de Schoeller de la qualité des eaux souterraines de la ville d'Aflou (2008-2013) ---------- 45
Figure 18 Diagramme de Schoeller de la qualité des eaux souterraines de la ville d'Aflou (2014-2019) ---------- 45
Figure 19 Variation temporelle de l'indice CCME---------- 47
Figure 20: cartographie de la distrubiton spatial de la qualité de l'eau en CCME pour la région d'Aflou ---------- 48

Abréviations

CCME IQE ……Conseil canadien des ministres de l'environnement indice de la qualité de l'eau
IQE ……..…. Indice de la qualité de l'eau.
SIG…….……Système d'information géographique
IDW…….…..Inverse Distance Weighted
TDS **.....** …….**.....**Total Dissolved Solids
ANRH……..…….Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
OMS…….…….Organisation Mondiale de la santé
IDW ……..Inverse Distance Weighted
ABH…….. Agence des bassins hydrographiques
CGIS……..Canada Geographic information System
SAA……...Spectrométrie d'absorption atomique
MDT…….. Les matières dissoutes totales

Liste des unités

Mg/l……..….milligramme par litre
µS/Cm…….Micro Siemens par centimètre
°C ……Dégrée Celsius
Mm……. Millimètre

Résumé

Les eaux souterraines sont la seule ressource en eau dans les zones arides et semi-arides et sont considérées comme une substance sensible en raison de sa facilité d'exposition à la pollution dans certains cas, de sorte qu'une surveillance permanente est nécessaire pour noter tout changement dans sa qualité physicochimique, la ville d'Aflou est située environ 350 Km sud de la capitale (Alger) et dépend entièrement des eaux souterraines pour ses diverses utilisations domestiques et agricoles.

L'objectif de cette étude est d'étudier la qualité physicochimique de l'eau de la région d'Aflou et de calculer l'indice de qualité de l'eau CCME et sa représentation en utilisant le système d'information géographique. Des échantillons ont été collectés dans divers forages de la région d'Aflou pendant 12 ans (2008-2019). 10 paramètres ont été analysés au laboratoire qui sont : pH, Conductivité électrique, Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Chlorure, Sulfate, Bicarbonate et Nitrate. Les résultats d'analyse ont été confrontés aux normes recommandés par l'OMS et aux normes Algériennes des eaux destinés à la consommation humaine. Le calcul de l'indice de qualité de l'eau IQE a été appliqué sur ces résultats.

Les résultats de calcul montrent que 47% des puits de la région ont une qualité excellente et 53% ont une qualité bonne. Les résultats calculés avec SIG ont été utilisés pour créer une carte de distribution de la qualité de l'eau dans la région en utilisant la méthode IDW.

L'utilisation du système d'information géographique en parallèle avec IQE est très utile pour mieux surveiller le changement temporel et spatial de la qualité de l'eau, et aide les gestionnaires à prendre les mesures et les décisions nécessaires.

Mots clés : Eaux souterraines, Indice de la qualité de l'eau, SIG, Aflou

Abstract

Groundwater is the only water resource in arid and semi-arid areas and is considered a sensitive substance due to its ease of exposure to pollution in some cases, so continuous monitoring is needed to note any change in its physicochemical quality. The city of Aflou is located about 350 km south of the capital (Algiers) and depends entirely on groundwater for its various domestic and agricultural uses.

The objective of this study is to study the physicochemical quality of the water of the region of Aflou and to calculate the water quality index of the IQE and its representation using the geographic information system, samples were collected from various wells in the region Aflou for 12 years (2008-2019) and calculated in the laboratory with 10 parameters are: pH, electrical conductivity, Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium, Chloride, Sulfate, Bicarbonate and Nitrate, We compared them with the standards recommended by the World Health Organization to study its quality and then calculate the WQI water quality index, the calculation results showed that 47% of the wells in the region have exellent quality and 53% are good quality, the results calculated with GIS were used to create a water quality distribution map in the region using the IDW method.

The use of geographic information systems in parallel with IQE is useful to monitor temporal and spatial change in water quality and helps managers take the necessary actions and decisions.

Key words : Groundwater, Water quality index, GIS, Aflou

ملخص

تعتبر المياه الجوفية المورد المائي الوحيد في المناطق القاحلة وشبه القاحلة وتعتبر مادة حساسة و ذلك لسهولة تعرضها للتلوث في بعض الحالات لهذا فالمراقبة الدائمة لها ضرورية لملاحظة أي تغيير يحدث على نوعيتها الفيزيوكيميائية, تقع مدينة أفلو في جنوب العاصمة الجزائر في المناطق الداخلية الوسطى وتعتمد بشكل كلي على المياه الجوفية لمختلف استعمالاتها المنزلية و الزراعية, الهدف من هذه الدراسة كان دراسة النوعية الفيزيوكيمائية لمياه منطقة افلو وحساب مؤشر نوعية المياه WQI و تمثيلها عن طريق نظم المعلومات الجغرافيا, تم جمع عينات لمختلف آبار لمنطقة افلو لمدة 12 سنة (2008-2019) وحساب في المختبر ب 10 مركبات وهي: درجة الحموضة pH, الناقلية الكهربائية,الكالسيوم, المغنزيوم, الصوديوم, البوتاسيوم, الكلور, السولفات, البيكاربونات و النيترات, تمت مقارنتها عير المعايير المحدد من طرف منظمة الصحة العالمية لدراسة مدى جودتها ثم حساب مؤشر جودة المياه WQI , أظهرت نتائج الحساب أن 47 % من آبار المنظقة لها نوعية ممتازة و 53 % لها نوعية جيدة, تم إستعمال النتائج المحسوبة مع نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء خريطة توزيع نوعية المياه في المنطقة باستمعال تقنية معكوس المسافة المرجحة.

استعمال نظم المعلومات الجغرافية بالتوازي مع نظم المعلومات الجغرافية مفيد جدا لمراقبة التغير الزماني والمكاني لنوعية المياه و يساعد المسيرين على اتخاذ الاجراءات والقرارات اللازمة.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية, مؤشر جودة المياه, نظم المعلومات الجغرافية, آفلو.

I. INTRODUCTION GENERALE:

I .1 Introduction :

L'eau souterraine est une source très importante au monde. En Algérie, l'eau souterraine est une source principale pour la consommation humaine et l'industrie pour la majorité de population surtout dans les zones rurale. Le volume d'eau extrait est évalué de 1,7 milliards de M3. [1] La qualité d'eau n'est pas moins importante que sa quantité, et que ses propriétés physiques, chimiques et biologiques ont une importance dans la détermination de la qualité et l'extension de l'aptitude à différentes utilisations. Il est nécessaire de mener une étude hydro-chimique de l'eau pour connaître ses propriétés, d'autant plus que l'eau traverse différentes formations géologiques qui y conduisent à la variété de ces caractéristiques. Il est nécessaire de faire une évaluation de la qualité de l'eau quel que soit son domaine d'utilisation.

Cependant, dans les régions aride et semi-aride, la qualité des eaux souterraines est affectée par les différentes activités humaines telles que l'utilisation d'engrais chimique en agriculture. [2] la pollution des eaux d'assainissement non traitées, et la lithologie des formations géologiques.

Le CCME IQE est un outil essentiel pour simplifier l'interprétation des résultats de qualité des eaux en utilisant ces paramètres physicochimiques. Le CCME IQE peut fournir un large aperçu sur la qualité générale de l'eau, Il est important lors de l'utilisation d'indices de tenir en compte leurs limites.

Malgré que l'indice fourni un aperçu des performances globales sur la qualité de l'eau, il n'est pas destiné à remplacer l'évaluation des paramètres de qualité de l'eau. Il ne doit pas non plus être utilisé comme le seul outil pour la gestion des plans d'eau. [3]

Plusieurs chercheurs utilisent la cartographie d'IQE en SIG pour l'évaluation de la qualité d'eau. Le système d'information géographique permet de visualiser la qualité d'eau et son développement spatial dans la zone d'étude. Il permet aussi d'interpréter les résultats obtenus et de détecter les raisons principales de chaque variation en utilisant la projection des cartes géologiques, les cartes de distribution des activités agricole ainsi que les rejets des réseaux d'assainissement.

I.2 Problématique

Dans les zones arides et semi-arides comme la région d'Aflou, les eaux souterraines sont la seule ressource utilisée pour répondre au besoin domestique et agricole.

Jour après jour, la dépendance aux eaux souterraines a augmenté en raison du changement de style de vie, de l'urbanisation et de la croissance démographique. Ces derniers sont des facteurs affectant la qualité et la quantité des eaux souterraines.

Il faut noter qu'il faut faire une surveillance spatio-temporelle pour évaluer la qualité des eaux avant leurs utilisations dont diverses activités, puisque le traitement de la pollution des eaux souterraines reste un grand défi.

L'indice IQE est un moyen très efficace pour décrire la qualité de l'eau. Il est basé sur l'utilisation de variable individuelle des paramètres chimiques des eaux afin de décrire la qualité générale de ces dernières. La communauté publique est difficilement compréhensible au sujet de la qualité des eaux, cela est dû à la diversité d'informations, voilà pourquoi, IQE a la capacité de réduire ses paramètres en une seule valeur pour exprimer les données sous une forme simplifiée et logique.

I. 3 Le but d'étude

La zone d'Aflou dépend complètement sur les ressources souterraines. Puisque elles sont la seule ressource disponible destinée à la consommation domestique et agricole, il faut donc garder la qualité de cette matière vitale et prévenir sa dégradation causé par les activités humaines.

Pour cela, l'outil de l'indice de la qualité d'eau est un outil parfait pour donner une image générale sur la qualité des eaux souterraines destinées à l'utilisation domestique et agricole.

La combinaison de l'indice de la qualité de l'eau avec les outils du système d'information géographique (SIG) génère une carte de la distribution spatiale de la qualité des eaux souterraines dans la zone étudiée. Elle peut aussi faciliter l'interprétation des résultats et la

détection des zones de pollution. Cette cartographie aide les gestionnaires dans la prévention de la dégradation de la qualité des eaux.

L'objectif du présent travail consiste à :

- Faire une analyse des paramètres physico-chimique des eaux souterraines du synclinal d'Aflou.
- Calculer l'indice de la qualité des eaux (CCME WQI).
- Créer une cartographie de la distribution spatiale de l'indice de la qualité de l'eau.

CHAPITRE II : APERCU BIBLIOGRAPHIQUE

II .1 Ressources en eaux souterraines

Les eaux souterraines sont un composant ordinaire dans le cycle d'eau mais pas indépendant des autres composants, plusieurs chercheures ont tenté de calculer le volume total des eaux souterraines sur terre et apprécie par un volume de 8 à 10 million km3. [4]

L'Afrique confronte des défis majeurs de gestion des ressources en eau, principalement parce que l'eau est inégalement répartie sur le continent. Environ 64% de la population dépendent de quantités d'eau limitées et très variables, et 25% de la population éprouvent des difficultés d'utilisation de l'eau en raison de problèmes d'accessibilité ou de mobilisation (par exemple, les infrastructures hydrauliques, le contrôle des débits, les coûts). [5]

Dans les pays en voie de développement sous-équipés en réseaux de distribution d'eaux potables, les eaux souterraines jouent un rôle prépondérant. [6]

Au cours du XXe siècle, le captage des eaux souterraines à travers le monde a augmenté de façon explosive. Cela a été conduit par la croissance démographique, le progrès technologique et scientifique, le développement économique et les besoins alimentaires et les revenus. De loin la plus grande part des volumes d'eau qui ont été extraits a été allouée à l'agriculture irriguée. [4]

II .2 Qualité physico-chimique des eaux souterraines

La qualité physico-chimique des eaux souterraines sur un site donné peut varier considérablement en fonction de divers facteurs qui influencent l'écoulement et la recharge des eaux souterraines, l'écoulement des eaux souterraines est influencé par la lithologie, la structure, la géomorphologie et le drainage, tandis que la recharge est affectée par l'utilisation des terres, les précipitations et le taux d'infiltration. [7]

II .3 Qualité physico-chimique des eaux souterraines en Algérie

Le Plan National de l'Eau de l'ABH, Mission 5, visait à accroître les connaissances sur la qualité de l'eau. Des analyses de la qualité de l'eau se sont concentrées sur des éléments physico-chimiques sélectionnés, y compris la température, la conductivité, les chlorures et les sulfates, ainsi que sur les polluants organiques et minéraux, y compris l'azote et le phosphore. Les résultats ont montré que les eaux souterraines sont souvent dures, avec une conductivité élevée et des minéralisations importantes, en particulier les sulfates. La conductivité élevée, ou la salinité, est influencée dans certains endroits par la lithologie et la minéralogie de l'aquifère, mais aussi par les précipitations et l'évaporation élevée dans les zones arides et semi-arides et, dans certains cas, par la surexploitation des aquifères. Certains aquifères côtiers ont subi des intrusions par l'eau de mer - comme l'aquifère d'Alger, les aquifères alluviaux du Bas Sebaou et les aquifères côtiers de la région d'Annaba-Bouteldja. La salinisation des aquifères se produit également à proximité des lacs salins, comme dans les Chott. [8]

L'identification de la pollution anthropogénique des eaux souterraines se produit principalement dans les aquifères côtiers, qui caractérisent les zones fortement urbanisées et où de faibles teneurs en oxygène dissous dans les eaux souterraines sont notés. Malgré l'agriculture intensive, les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines restent généralement inférieures aux valeurs acceptables.

II .4 Description des Paramètres physicochimiques de l'eau

II .4.1 pH

Le pH d'une solution est le logarithme négatif commun de l'activité des ions hydrogène:

pH = -log (H+)

Dans les solutions diluées, l'activité des ions hydrogène est approximativement égale à la concentration en ions hydrogène.

Le pH de l'eau est une mesure de l'équilibre acide-base, dans la plupart des eaux naturelles, est contrôlée par le système d'équilibre dioxyde de carbone – bicarbonate – carbonate. Une augmentation la concentration de dioxyde de carbone fera donc baisser le pH, tandis qu'une baisse le fera monter. La température affectera également les équilibres et le pH. Dans l'eau pure, une diminution du pH d'environ 0,45 se produit lorsque la température augmente de 25 ° C. Dans l'eau avec une capacité tampon conférée par les ions bicarbonate, carbonate et hydroxyle, cet effet de température est modifié

Le pH de la plupart des eaux brutes se situe entre 6,5 et 8,5

Le pH est d'une importance majeure pour déterminer la corrosivité de l'eau. En général, le plus bas le pH, plus le niveau de corrosion est élevé. Cependant, le pH n'est qu'un des nombreux facteurs affectant la corrosion

L'exposition à des valeurs de pH extrêmes entraîne une irritation des yeux, de la peau et des muqueuses. L'irritation oculaire et l'exacerbation des troubles cutanés ont été associées à des valeurs de pH plus élevées de 11. De plus, des solutions de pH 10–12,5 auraient fait gonfler les fibres capillaires.

Chez les personnes sensibles, une irritation gastro-intestinale peut également survenir. Exposition à un pH bas les valeurs peuvent également entraîner des effets similaires. En dessous de pH 4, des rougeurs et une irritation des yeux ont été signalés, dont la gravité augmente avec la diminution du pH. En dessous de pH 2,5, dommages à l'épithélium est irréversible et étendu. De plus, parce que le pH peut affecter le degré de corrosion des métaux ainsi que l'efficacité de la désinfection, il peut avoir un effet indirect sur santé. [13]

II .4.2 Calcium

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement [14]. La concentration moyenne du calcium dans le sol est d'environ 1,37 × 104 mg/kg. [15] On a constaté que la lixiviation du calcium à partir du sol augmentait nettement avec l'acidité de l'eau de pluie. [16]

La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

Les eaux de surface renferment généralement moins de calcium que les eaux souterraines. [17]

Comme le métabolisme du calcium est régi par des mécanismes homéostatiques efficaces, les effets toxiques de cet élément ne se manifestent qu'en cas d'absorption de très importantes quantités. Si l'alimentation est riche en calcium, la biodisponibilité des autres minéraux absorbés peut être perturbée. Associé à un phosphate, le calcium peut réduire l'absorption du fer [18] Selon certaines études, le calcium de source alimentaire perturberait l'équilibre magnésien. [19] [20]

II .4.3 Sodium

Le sodium est un métal mou, blanc argenté et fortement réactif qui, dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Ce métal alcalin se présente fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé.

Le sodium est le plus abondant de tous les métaux alcalins, et il constitue 2,6 % de la croûte terrestre. [21] Ses composés sont très répandus dans la nature. La dissolution des gisements de sel gemme et la météorisation des roches ignées constituent deux sources naturelles du sodium dans l'environnement. [22] La plupart des sols en contiennent une teneur de 0,1 à 1 %, principalement sous forme de silicates tels que les amphiboles et les feldspaths. Les terres sodiques contiennent de grandes quantités de sodium soluble et échangeable.

Le sodium constitue le cation le plus abondant du milieu extracellulaire. Il se trouve largement sous forme de chlorure et de bicarbonate assurant la régulation de l'équilibre acido-

basique. Une autre fonction importante du sodium consiste à maintenir la pression osmotique du milieu intérieur et ainsi à prévenir les pertes de liquide. Il permet aussi de maintenir à un niveau normal l'excitabilité musculaire et la perméabilité cellulaire. L'organisme a besoin au minimum d'environ 120 mg/jour de chlorure de sodium (contenant environ 50 mg de sodium). [23]

II .4.4 Potassium

Le potassium est un métal alcalin et le septième élément le plus abondant sur la Terre. Il constitue 2,59 % de la croûte terrestre, mais il est très réactif et n'est pas présent dans la nature sous forme de métal libre. Il présente une structure cristalline et de fortes conductivités thermique et électrique, Le potassium est un élément naturel essentiel pour les végétaux et les animaux. Les humains y sont principalement exposés par leur alimentation. Bien que les concentrations de potassium dans l'eau potable soient habituellement faibles et ne soulèvent aucune préoccupation sanitaire, la grande solubilité dans l'eau du chlorure de potassium et son utilisation dans les adoucisseurs d'eau peuvent accroître considérablement l'exposition.

Les concentrations de potassium dans les aquifères rocheux profonds des Prairies sont habituellement plus élevées, variant selon la profondeur et la distance de la zone d'affleurement
des minéraux potassiques.
Le potassium est un élément essentiel à la nutrition des végétaux, des animaux et des humains . Chez ces derniers, les ions potassium jouent un rôle indispensable dans de nombreuses fonctions vitales des cellules, comme le métabolisme, la croissance, la réparation et la régulation du volume, ainsi que dans les propriétés électriques des cellules.
Il est peu probable que le potassium ait des effets nocifs sur les personnes en santé suite à la consommation d'eau potable. L'intoxication au potassium par ingestion est rare parce que le potassium est rapidement excrété par des reins fonctionnant normalement et que l'ingestion d'une seule forte dose de potassium provoque habituellement des vomissements [24]

II .4.5 Magnésium

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants. Il constitue 2,5 pour cent de la croûte terrestre et forme généralement des minéraux comme la giobertite (“magnésite”), la dolomie, l’olivine, la serpentine, le talc et l’amiante. [25] [26] [27] Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

Le magnésium est un élément indispensable au métabolisme du corps humain, et il est crucial pour plus de 300 réactions enzymatiques,[28]dont toutes celles qui utilisent de l’adénosine-triphosphate.[29] Comme le magnésium est indispensable à la régulation de la perméabilité cellulaire, une concentration insuffisante de cet élément perturbe gravement les fonctions cardiovasculaires, neuromusculaires et rénales.

L’inconvénient le plus évident de la présence de magnésium dans l’eau potable est son effet laxatif, particulièrement lorsqu’il s’agit d’une concentration de sulfate de magnésium excédant 700 mg/L. [30]

II .4.6 Chlorure

Généralités Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère. [31] Ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l’environnement.

La présence des chlorures dans les sources d’eau potable peut être attribuée à la dissolution des dépôts de sel, [32] à l’épandage de sel sur les routes pour faire fondre la glace et la neige, [33] [34] [35] [36] [37] aux effluents des usines de produits chimiques, [38] à l’exploitation des puits de pétrole,[39] aux eaux d’égouts,[40] à l’écoulement des eaux d’irrigation, [41] aux eaux de lixiviation des déchets,[42] aux émanations volcaniques, aux embruns marins et à l’intrusion de l’eau de mer dans les zones côtières. [31] Chacune de ces sources peut entraîner une contamination locale des eaux de surface et des eaux souterraines.

Le chlorure est un élément essentiel et le principal anion extracellulaire du corps. Il s’agit d’un ion très mobile, qui traverse facilement les membranes cellulaires et qui assure une pression osmotique, un bilan hydrique et un équilibre acide-base appropriés.

On a avancé que le chlorure jouait un rôle dans l'hypertension sensible au sodium. [43] [44] Selon certaines indications, il semblerait que le sodium et le chlorure à la fois sont nécessaires pour exercer un effet hypertenseur. [45]

II .4.7 Sulfates

Le soufre est un élément non métallique dont les valences les plus fréquentes sont –2, –1, 0, +4 et +6. Les sulfates existent à l'état naturel dans de nombreux minéraux, dont la baryte ($BaSO_4$), l'epsomite ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) et le gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). [46] L'inter conversion réversible des sulfates et des sulfures dans le milieu naturel est appelée «cycle du soufre». [47] [48]

L'ion sulfate est l'un des anions les moins toxiques. La dose létale chez l'humain est de 45 g sous forme de sulfate de potassium ou de zinc. La dose létale minimale de sulfate de magnésium signalée chez des mammifères est 200 mg/kg. [49]

II .4.8 Bicarbonate

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'hydrogénocarbonates ou bicarbonates (HCO_3^-), de carbonates (CO_3^{--}), d'ions hydroxydes (HO^-) et d'une façon plus limitée, aux ions silicates ($HSiO_3^{--}$), phosphates (PO_3^{----}) ou encore aux espèces moléculaires des acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité, exprimée en HCO_3^-, varie de 10 à 350 mg/L.

D'un point de vue minéralogique, les bicarbonates prédominent dans la composition de la plupart des eaux de surface. C'est la mesure du pH qui permet de déterminer la présence de ces éléments. Les bicarbonates sont trouvées en général entre 6,4 et 10,3 alors que les carbonates sont trouvées au-delà et en dessous de 6,4, les bicarbonates et les carbonates sont remplacées par du CO_2 libre. [50]

II .4.9 Nitrate et Nitrite

Le nitrate et le nitrite sont très répandus dans l'environnement. Ils sont produits de manière naturelle par l'oxydation de l'azote par les microorganismes et, dans une moindre mesure, par les éclairs. L'activité humaine, y compris l'agriculture, le traitement des eaux usées ainsi que les rejets issus des procédés industriels et des véhicules motorisés, constitue la source la plus importante de ces substances. Le nitrate et le nitrite peuvent aussi être générés par un processus de nitrification dans l'eau de source ou dans les réseaux de distribution. Une concentration d'ammoniac libre pénétrant dans le réseau de distribution peut permettre la nitrification et la hausse des quantités de nitrate et de nitrite dans l'eau potable. [51]

II .4.10 TDS

Les matières dissoutes totales (MDT) sont les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques qui sont dissous dans l'eau. Leurs principaux constituants sont habituellement les cations calcium, magnésium, sodium et potassium et les anions carbonate, bicarbonate, chlorure, sulfate et, en particulier dans les eaux souterraines, nitrate (en raison des utilisations agricoles).
Aucune donnée récente n'a permis d'identifier des effets pathogènes qui seraient liés à l'absorption de TDS avec l'eau potable.

II .4.11 La conductivité électrique

La conductivité d'une substance est définie comme l'abélite ou la puissance à conduire ou transmettre la chaleur, l'électricité, ou le bruit". Ses unités sont les Siemens par mètre [S/m] en SI et en microhms par centimètre [mmho/cm] en unités américaines. Son symbole est k ou s.

II .5 Normes de potabilité de l'eau

Une eau potable est une eau que l'on peut consommer sans danger pour la santé car elle ne doit être ni toxique, ni infestée de bactéries, de parasites ou de virus nuisibles pour l'homme, donc il est important de connaître les différentes normes et indicateurs de potabilité et de qualité afin de sensibiliser les personnes en charge de la gestion de l'eau sur l'importance du contrôle de la qualité de l'eau afin d'éviter autant de maladies et de mortalité.

Une eau avant d'être consommée sans danger pour la santé doit répondre à certaines normes de potabilité :

- La potabilité microbiologique : c'est l'absence, ou la présence à des taux suffisamment faibles, de micro-organismes susceptibles de provoquer des maladies graves et contagieuses.

- La potabilité chimique : c'est l'absence, ou la présence à des taux suffisamment faibles, de substances toxiques susceptibles de provoquer des maladies à plus ou moins long terme.

Pour pouvoir être consommée agréablement l'eau doit être limpide, claire et ne doit présenter ni saveur, ni odeur désagréable. Cependant une eau qui ne satisfait pas pleinement à ces critères ne présente pas forcément de risque pour la santé.

Tableau 1 Normes Algériennes et de l'OMS de potabilité de l'eau [52]

Paramètres	**Unité**	**Normes Algériennes**	**Normes de l'OMS**
pH		6.5-8.5	
Calcium	mg/l		200
Sodium	mg/l		200
Potassium	mg/l		20
Magnésium	mg/l		150
Chlorure	mg/l	500	
Sulfates	mg/l	400	
Nitrate	mg/l	50	
Bicarbonate	mg/l		350
Conductivité électrique	µs/cm	2800	

II .6 Indice de la qualité d'eau

L'indice de la qualité d'eau est une expression mathématique qui représente l'influence composite des paramètres physiques et chimiques importants qui se reflètent sur l'indice. L'application de l'indice offre une unité définie et compréhensible de mesure qui répond au changement de qualité de l'eau. La méthode d'indexation, en vertu de sa fonction de combiner les résultats de changement dans les niveaux de paramètres, reflète une valeur nette de qualité qui peut être observée et interprétée de manière significative.
L'indice fournit donc un instrument ou une outil qui consolide et présente sous la forme d'un nombre unique les valeurs de plusieurs paramètres sélectionné pour entrer dans la formulation de l'indice, avec une compréhension de la réactivité de l'outil aux changements des valeurs des paramètres et sa capacité pour refléter les changements dans la qualité de l'eau, l'IQE peut être considéré comme une ressource la communication. [9]

II .7 Système d'information géographique

Le système d'information géographique (SIG) est conçu pour capturer, manipuler, stocker, analyser et gérer les données. C'est une extension de la cartographie - la science de la création de cartes - et permet aux individus de visualiser, d'analyser, de questionner et d'interpréter les données. Les parties intéressées peuvent utiliser le SIG pour mieux comprendre les relations, les tendances et les modèles. Tout au long de cet article, nous évaluerons l'histoire du SIG comme point d'intérêt.

Un SIG est comme un document cartographique dans le sens où ils contiennent tous deux des exemples de carte de base, où des données supplémentaires ont été ajoutées si nécessaire. Il n'y a pas de limite à la quantité de données qui peuvent être ajoutées à une carte SIG, qui capitalise sur l'analyse et présente des données à l'appui des arguments.

II .8 Historique de système d'information géographique

Le développement de SIG a commencé principalement au milieu du 18e siècle par le géographe français Charles Picquet pour l'analyse spatiale en épidémiologie. Il a présenté des cartes codées en couleur de 48 quartiers de Paris illustrant le pourcentage de décès dus au

choléra pour 1000 personnes. Ce fut le premier exemple de prestation visuelle de données géographiques et John Snow qui dépeint une épidémie de choléra en 1854 sous forme de cartes, l'utilisation systématique à grande échelle des SIG s'est produite pour la première fois au Canada entre 1960 et 1963 pour le secteur public en tant que Canada système d'information géographique (CGIS) de Roger Tomilnson pour analyser les cartes d'inventaire afin d'identifier l'utilisation actuelle des ressources terrestres des nations et les moyens de l'optimiser, le SIG a été mis à niveau des cartes simples du XIXe siècle à la technologie Web interactive du 21e siècle.

Pour résumer l'histoire des SIG, il y a eu trois phases distinctes dans le développement des systèmes d'information géographiques.

Phase 1 (jusque au les années 1960): initiation de la technologie mais le domaine était dominé par quelques personnes intéressés par la technologie conduisant à une utilisation limitée et au développement technologique

Phase 2. (Des années 1960 au début des années 1980): SIG a été utilisé par des gouvernements en Amérique du Nord tels que le US Census Bureau, l'Environmental Protection Agency et le gouvernement canadien.

Phase 3 (après les années 1980): la disponibilité des logiciels SIG commerciaux a conduit à une utilisation plus large de la technologie, en particulier par le secteur privé. Pas beaucoup d'utilisation en santé publique en raison du coût élevé des logiciels et des complexités techniques. Le SIG est devenu plus interactif et plus simple à utiliser, mais l'utilisation de la santé publique reste limitée. Logiciel SIG gratuit développé par des agences de développement internationales telles que l'OMS

II .9 Analyse spatial en SIG

Comprendre la distribution spatiale des données des phénomènes qui se produisent dans l'espace constitue aujourd'hui un grand défi à l'élucidation des questions centrales dans de nombreux domaines de la connaissance, que ce soit en santé, en environnement, en géologie, en l'agronomie, parmi tant d'autres. Ces études deviennent de plus en plus communes, en raison de la disponibilité d'un système d'information géographique (SIG) à faible coût avec des interfaces conviviales. Ces systèmes permettent la visualisation spatiale de des variables telles que les populations individuelles, les indices de qualité de vie ou les ventes des entreprises dans une région à l'aide de cartes. Pour cela, il suffit d'avoir une base de données et un géographique (comme une carte des municipalités), et le SIG est capable de présentant une carte en couleur qui permet de visualiser le motif spatial du phénomène. [10]

Outre la perception visuelle de la distribution spatiale du phénomène, il est très utile de traduire les modèles existants en objectifs et considérations mesurables, comme dans les cas suivants:

- Les épidémiologistes collectent des données sur la fréquence des maladies. Est-ce que le la répartition des cas de maladie se forme-t-elle dans l'espace? Y a-t-il association avec une source de pollution? Y a-t-il des preuves de contagion? Cela a-t-il varié avec le temps?

- Nous voulons étudier s'il y a une concentration spatiale dans le distribution de vol. Les vols qui surviennent dans certaines régions sont-ils caractéristiques socio-économiques de ces zones?

- Les géologues souhaitent estimer, à partir de certains échantillons, l'extension d'un gisement de minéraux dans une région. Ces échantillons peuvent-ils être utilisés pour estimer répartition des minéraux dans cette région?

- Nous voulons analyser une région à des fins de zonage agricole. Comment choisir les variables indépendantes - sol, végétation ou géomorphologie -et déterminer

quelle est la contribution de chacun d'eux pour définir où chaque type de culture est plus adéquat?

Tous ces problèmes font partie de l'analyse spatiale des données géographiques. L'analyse spatiale met l'accent sur la mesure des propriétés et des relations, tenant compte de la localisation spatiale du phénomène étudié dans une voie directe. Autrement dit, l'idée centrale est d'incorporer l'espace dans l'analyse pour être fabriqué. Ce livre présente un ensemble d'outils qui tentent de résoudre ces problèmes. C'est destiné à aider les personnes intéressées à étudier, explorer et modéliser les processus qui s'exprimer à travers une distribution dans l'espace, ici appelée géographique phénomènes.

II .10 Interpolation spatial en SIG

L'interpolation spatiale est le processus d'utilisation de points avec des valeurs connues pour estimer des valeurs à d'autres points inconnus. Par exemple, pour faire une carte des précipitations (précipitations) pour votre pays, vous ne trouverez pas suffisamment de stations météorologiques réparties uniformément pour couvrir toute la région. L'interpolation spatiale peut estimer les températures à des emplacements sans données enregistrées en utilisant des relevés de température connus dans les stations météorologiques à proximité. Ce type de surface interpolée est souvent appelé surface statistique. Les données d'altitude, les précipitations, l'accumulation de neige, la nappe phréatique et la densité de population sont d'autres types de données qui peuvent être calculées par interpolation.

Nous ne pouvons pas mesurer les valeurs du phénomène particulier en tous les points de la sphère, mais uniquement en points d'échantillonnage. L'interpolation nous donne des valeurs telles que nous n'avons pas de mesures.

La qualité de l'interpolation peut être caractérisée par la différence entre la valeur interpolée et la valeur réelle. Parce que la vraie valeur n'est pas connue en général, nous pouvons sélectionner certains points mesurés pour tester la procédure d'interpolation. [11]

Il existe deux catégories de techniques d'interpolation: déterministes et géostatistiques. Les techniques d'interpolation déterministes créent des surfaces basées sur des points mesurés ou des formules mathématiques. Des méthodes telles que l'Inverse Distance Weighted (IDW) sont basées sur l'étendue de la similitude des cellules tandis que des méthodes telles que Trend s'adaptent à une surface lisse définie par une fonction mathématique.

Les techniques d'interpolation géostatistique telles que Kriging sont basées sur des statistiques et sont utilisées pour une modélisation de surface de prévision plus avancée qui inclut également une certaine mesure de la certitude ou de l'exactitude des prévisions. [12]

II .10.1 Méthode d'Inverse Distance Weighted

La fonction IDW doit être utilisée lorsque l'ensemble de points est suffisamment dense pour capturer l'étendue de la variation de surface locale nécessaire à l'analyse. IDW détermine les valeurs des cellules à l'aide d'un ensemble combiné pondéré linéaire de points d'échantillonnage. Le poids attribué est en fonction de la distance d'un point d'entrée par rapport à l'emplacement de la cellule de sortie, plus la distance est grande, moins la cellule a d'influence sur la valeur de sortie. [12]

II .10.2 Kriging

Une puissante méthode d'interpolation statistique utilisée pour diverses applications telles que les sciences de la santé, la géochimie et la modélisation de la pollution, Kriging suppose que la distance ou la direction entre les points d'échantillonnage reflète une corrélation spatiale qui peut être utilisée pour expliquer la variation de la surface. Il adapte une fonction à un nombre spécifié de points ou à tous les points dans un rayon spécifié pour déterminer la valeur de sortie pour chaque emplacement. Le Kriging est plus approprié lorsqu'une distance corrélée spatialement ou un biais directionnel dans les données est connu et est souvent utilisé pour des applications en science des sols et en géologie.

Les valeurs prévues sont dérivées de la mesure de la relation dans les échantillons en utilisant une technique moyenne pondérée sophistiquée. Il utilise un rayon de recherche qui peut être fixe ou variable. Les valeurs des cellules générées peuvent dépasser la plage de valeurs des échantillons et la surface ne traverse pas les échantillons.

Il existe plusieurs types de Kriging. Le Kriging ordinaire, la méthode la plus courante, suppose qu'il n'y a pas de moyenne constante pour les données sur une moyenne de zone. Le Kriging universel suppose qu'une tendance dominante existe dans les données et qu'elle peut être modélisée.

III .MATERIELS ET METHODES

III.1.Description de la zone d'étude

III.1.1.Situation géographique

La région d'Aflou est située à l'Atlas Saharien. Elle est à environ 350 Km de la capitale (Alger), elle est le chef-lieu de la daïra, appartenant à la wilaya de Laghouat, elle est situé au nord-ouest du chef-lieu de Laghouat, Elle appartient au Djebel Amour qui constituent la partie centrale de l'Atlas Saharien et limité au sud-est de Djebel Oulad Nail et par Djebel Ksour au Sud-ouest.

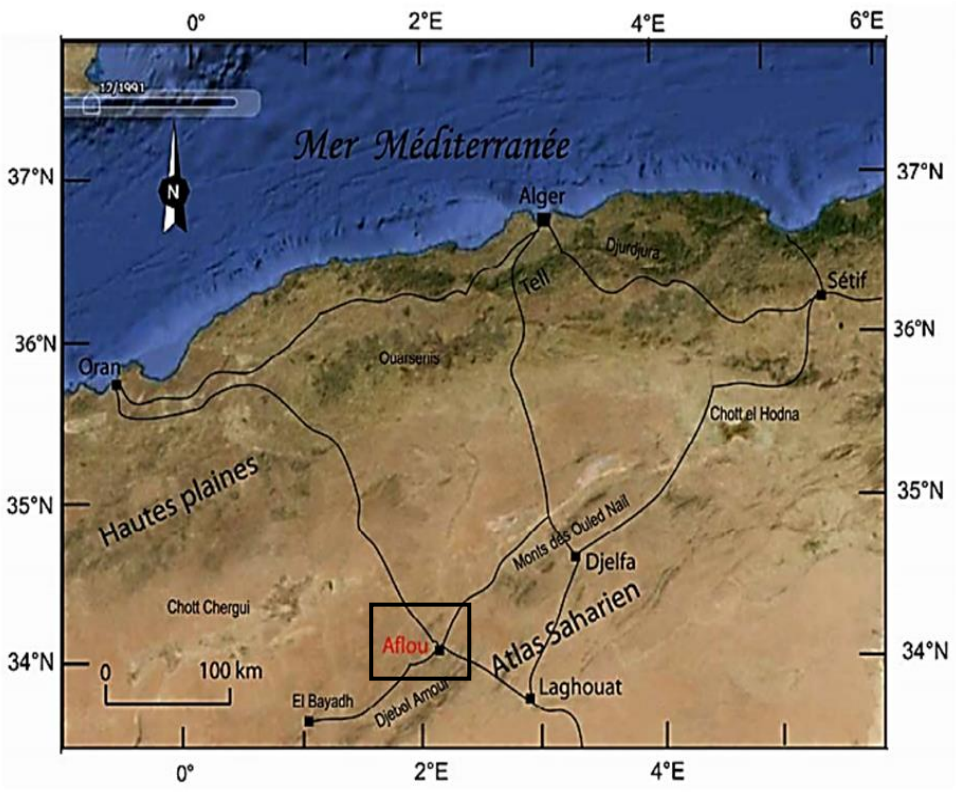


Figure 1 : localisation de la région etudiée.

III.1.2. Population

Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008 [53] :

Aflou : une population résidante de 102025 habitants.

Brida : une population résidante de 6395 habitants.

Oued Morra : une population résidante de 5700 habitants.

Sidi Bouzid: une population résidante de 5191 habitants.

Hadj Mecheri : une population résidante de 6357 habitants.

Gueltat Sidi Saad : une population résidante de 12567 habitants.

El ghicha : une population résidante de 6079 habitants.

III.1.3. Climat

La température moyenne mensuelle de 3.8 °C en Hiver et plus de 24.75 °C en été (ANRH) .

La température est un facteur important dans l'étude du climat, est l'élément nécessaire pour l'étude du climat et ses paramètres comme le bilan hydrique.

La pluviométrie moyenne Annuelle est de 274.75 mm (ANRH) .

Pour cette étude on apprit en considérations la station d'Aflou, dont les cordonnées sont :

Tableau 2: Coordonnées géographique de station pluviométrique.

Station	Longitude	Latitude	Altitude(m)
Aflou	**2°6'8" E**	**34°6'46'' N**	**1406**

III.1.4 Température

C'est un paramètre incontournable, il est utilisé conjointement avec les précipitations, climat et température sont intimement liés dont la température est un influenceur principale dans la condition climatique.

On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station d'Aflou durant la période (1990-2011).

Selon certain auteurs l'année hydrologique début le mois de Septembre.

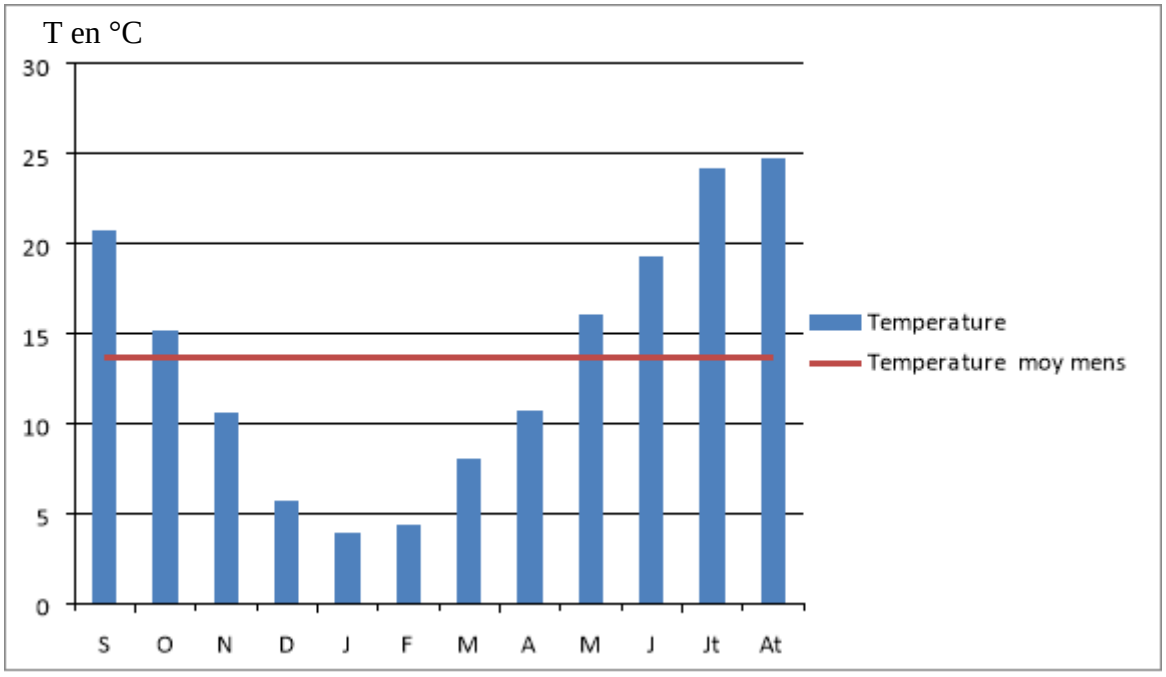


Figure 2 : Variation mensuelle de la température (ANRH 1990-2011).

La figure montre que la température moyenne est de 13.63 °C. La température minimale moyenne est de 3.9 °C enregistrée au mois de Janvier alors que la température maximale est de 24.75 °C enregistrée au mois d'Aout.

La température moyenne annuelle observée sur une période de 21 ans pour la station d'Aflou 13.63 °C.

III.1.4 Les précipitations.

Les précipitations est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes, Donc toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations.

III.1.4.1 Représentation annuelle des précipitations.

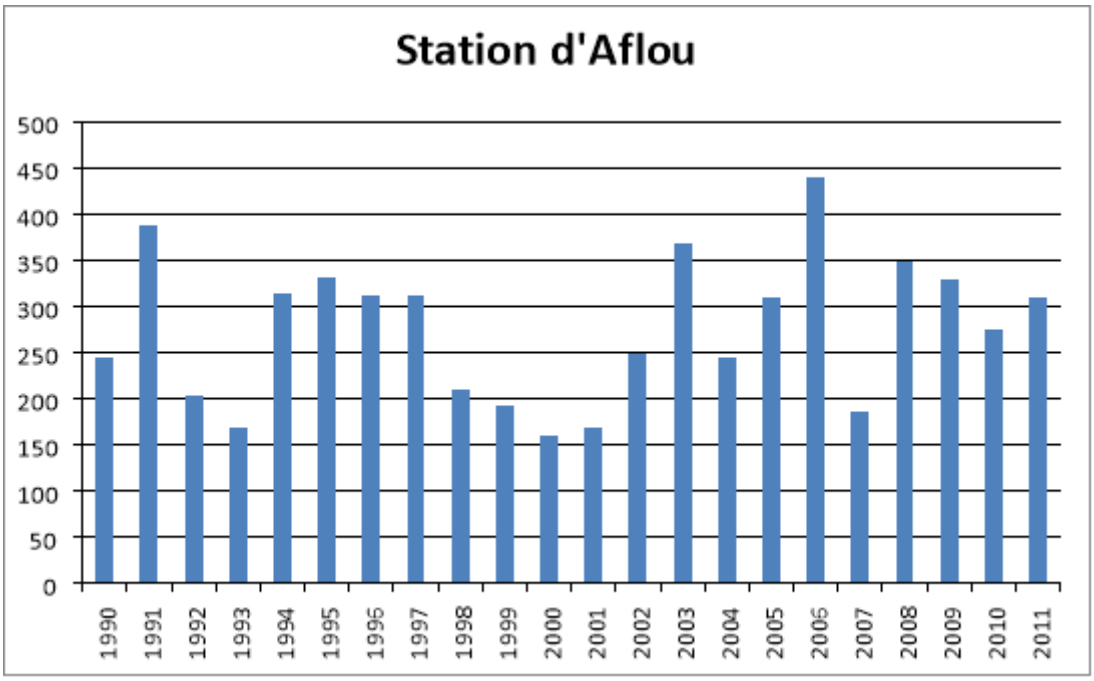


Figure 3 : Variation annuelle de la précipitation (ANRH 1990-2011).

III.1.4.2 Représentation mensuelle des précipitations.

Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles pendant la période 1990-2011, nous avons établi le tableau suivant **[4].**

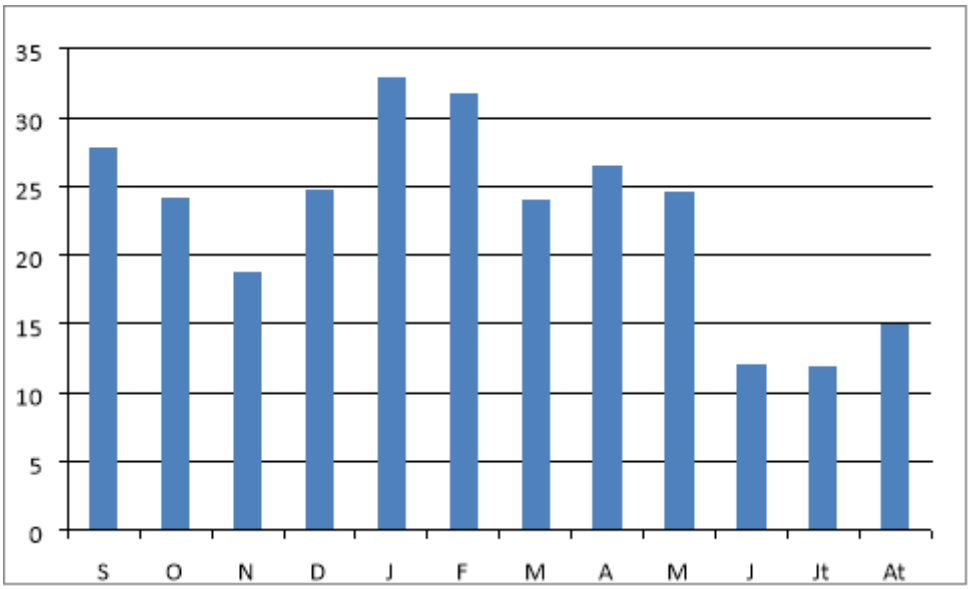


Figure 4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Aflou (ANRH 1990-2011).

Nous constatons que le maximum de précipitation est observé au mois de Janvier et Février avec des valeurs de 33 et 31.71 mm respectivement, et le minimum est constaté au mois de Juin et Juillet avec 12.1 et 11.89 mm respectivement.

III.1.5 Géologie

Dans la région d'Aflou on peut citer :
Le complexe détritique (grés) de Barrémien, Albien, qui constitue le synclinal d'Aflou, forme une aquifère multicouche a porosité d'interstices, de fractures de chenaux.
Les calcaires dolomitiques du turonien au niveau de Djebel Sidi Okba et Djebel Gourou constituent un aquifère a porosité de fractures.
Enfin les formations du Moi-Plio-Quaternaire, lorsque leur épaisseur le permet peuvent constituer des réservoirs d'importance moyenne. [54]

III.1.5.1 Stratigraphie

Les montagnes du djebel Amour forment un nœud orographique très important, et constituent un ensemble de plis plus ou moins individualisés. Ils enserrent une cuvette synclinale au centre de laquelle se trouve la ville d'Aflou.

Vers le nord on rencontre le djebel Sidi Okba (1707) dont le sommet est formé de calcaire au sud djebel Zlag (1580 m) qui sépare le synclinal d'Aflou du plateau de la Gaada.

Au Sahara et au début de 1'ère secondaire les reliefs formés sont aplanis ; les terrains enlevés sont exportés au nord et vont combler les zones de subsidences. Durant l'ère secondaire la mer couvrait en majeure partie le Maghreb; les grands géosynclinaux de l'atlas Saharien commencent à être comblés de sédiments dès l'ère secondaire, peu profond vers le nord.

Au crétacé la mer va couvrir la plus grande partie de l'Afrique du Nord, elle l'évacuera au début du Tertiaire. Les dépôts terrigènes et chimiques offrent une remarquable sédimentation.

-LE TRIAS :

-LE POINTEMENT DES TRIAS D'AIN FOURENE:

Situé sur la route d'Aflou el Ghicha, il est constitué de roches vertes sous forme de filons en grains fins et légèrement modifiés au contact des calcaires jurassique. Ces filons de 1 à 2 mètres et sur une dizaine de mètres de long se trouvent à l'intérieur des marnes salifères et gypse. Cet affleurement se trouve enserré par l'anticlinal du djebel Chebka et djebel Zlag.

LE POINTEMENT DE DJEBEL ZLAG : En amont de l'Ain djeneb et le long de l'axe anticlinal du djebel Zlag on rencontre un affleurement de gypse et de sel qui forme les berges de l'oued M'zi d'une hauteur de quelques mètres.

LE POINTEMENT DE GOUROU :

Il existe de nombreux petits pointements localisés dans les fonds et sur les bords des ravins souvent encaissés. Ils sont formés de gypse et micro diorites.

LE JURASSIQUE :

LE KIMMÉRIDGIEN

KIMMÉRIDGIEN GRÉSEUX :

Il occupe le cœur des anticlinaux, c'est au niveau de l'anticlinal de Taouiala Kef Labiod au nord de Ain Sidi Ali, Djebel Zlag qu'affleurent ces grès. D'après les forages que nous avons effectués à Taouiala et Kef Labiod, et tout récemment à El Ghicha, l'épaisseur de ces grès varient d'un endroit à un autre. Nous avons noté une épaisseur de 100 mètres au niveau de Taouiala et plus de 200 m à Kef Labiod.

KIMMÉRIDGIEN MARNO-CALCAIRE:

La série présente une épaisseur de 100 m au niveau de djebel Djéhaifa et l'anticlinal de Taouiala au niveau de ses structures la séries se présente comme suit : Des calcaires sous forme de bancs métriques alternant avec des marnes vertes gypseuses.

Une succession de calcaire et marno-calcaire de couleur grise, des marnes parfois feuilletées de couleur grise dans lesquelles s'intercalent des banes de calcaires.

LE PORTLANDIEN :

Cette série à une épaisseur de 200 m elle débute par :

Une assise calcaire, la roche est homogène dure, de couleur grisâtre à jaunátre.

Des marnes vertes avec bancs de calcaires sous forme de plaquettes.

Le portlandien se termine par des bancs de calcaires bien visibles et forme parfois de véritables corniches. Ces calcaires à lumachelles deviennent parfois oolitiques et prennent des formes plus régulières.

Les terrains anciens du jurassique occupent généralement les cœurs des anticlinaux. Dans le djebel Amour les faciès calcaires, calcaire dolomitique se présentent surtout sous forme de bancs plus ou moins épais et mal lités. Cette épaisseur varie du mètre à quelques mètres. A la partie supérieure le calcaire spathique, de couleur grise, rugueux à la surface et au niveau de la partie supérieure, ce calcaire s'alterne avec des marnes parfois durcies de couleur verte et bleue.
Les couches de la partie supérieures sont situées immédiatement au-dessous d'un ensemble puissant de grés sans fossiles. Dans la chaine du djebel Sidi Bouzid le bord de l'oued M'zi et le djebel Lazreg des fossiles caractéristiques du jurassique ont été rencontré. la faune nombreuses et variée a suffi pour déterminer cet étage avec certitude.

LE CRÉTACÉ :

LE BARREMIEN-VALANGENIEN :

Dans le djebel Amour cet étage est représenté par un complexe très puissant de grés, présentant un faciès habituel degrés à stratifications entrecroisées allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. La roche est friable avec un ciment calcaire. C'est une série uniforme à grains grossiers qui en beaucoup de points contient de nombreux galets de quartz

de diamètre variable allant de quelques millimètre à 2-3 centimètres. Ces grès sont largement fissurés suivant deux directions majeures d'orientation N60°E et N130°E. Ce sont ces grès qui couvrent les plus grands espaces et constituent la cuvette du synclinal d'Aflou. Ces grès sont largement affectés par une tectonique cassante. Les forages effectués au niveau du synclinal d'Aflou profonds de 900m sont restés en permanence dans les grès.

ALBIEN-APTIEN:

Cet étage commence à affleurer au pied de la pente qui forme le djebel de Sidi Okba, Le kef Gourou. A la partie supérieure on trouve une brève alternance de marnes calcaire et calcaire gréseux cet ensemble est attribué à l'Albien supérieur. Puis des grès en gros bancs très faiblement inclinés, de 2 à 6 mètres séparés par des lits marneux de l'ordre du décimètre; le tout est attribué à l'Albien inférieur. Au-dessous apparaissent des calcaires jaunes marneux. Ces calcaires présentent des niveaux fossilifères. Cette barre de calcaire est attribuée à l'Aptien selon Askri H.

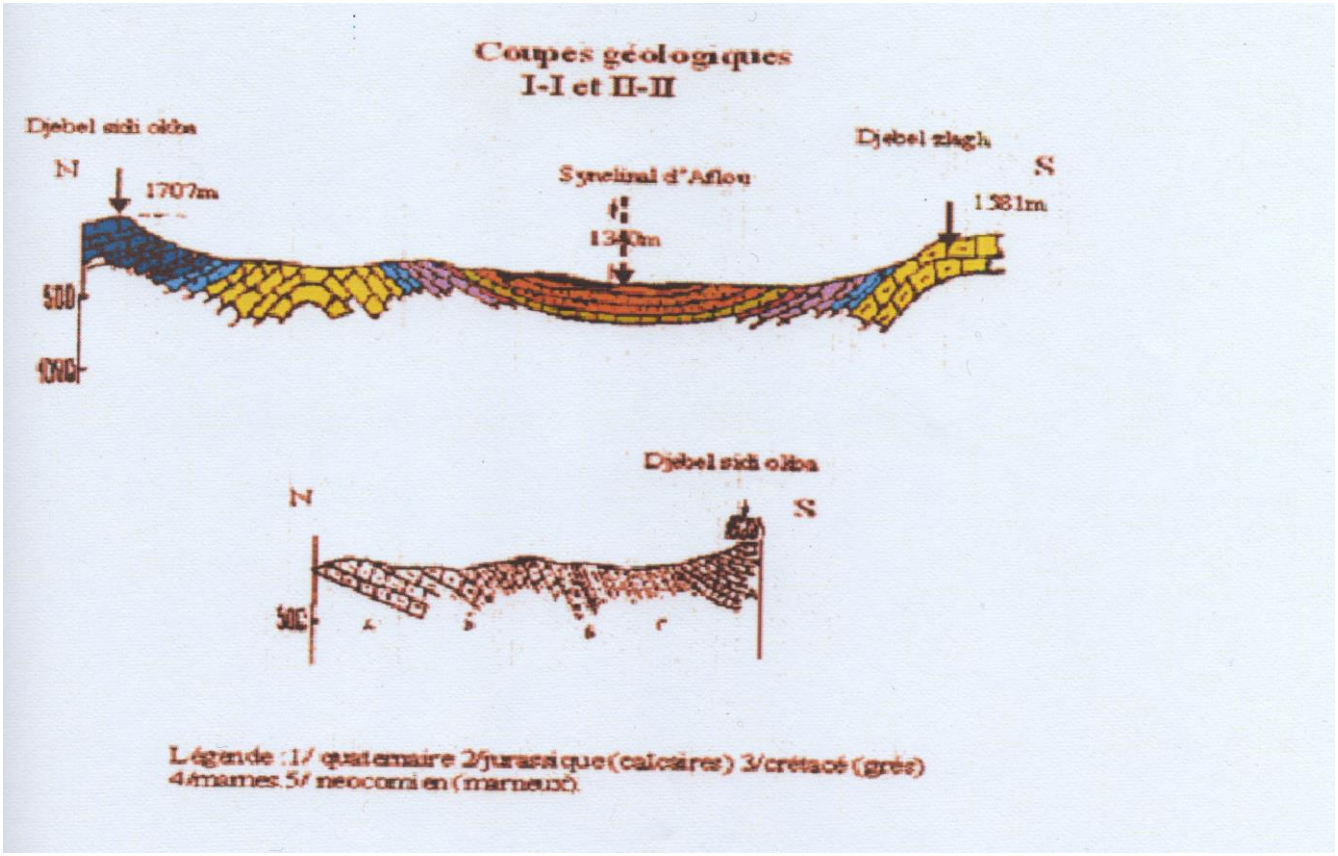


Figure 5 : Coupes Géologiques. (Nouar, 1992).

III.2 Les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau

III.2.1 pH

L'eau à analyser est additionnée d'un indicateur et la coloration obtenue comparée à une échelle de teintes préparées à partir de solutions de pH connues en utilisant comparateur de pH avec tubes ou disques et colorimètre.

La méthode potentiométrique avec électrode de verre plus précise est celle couramment utilisée

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Selon l'expression de NERNST, pour cela en utilise :

–Électrode de verre.

–Électrode de référence au calomel, chlorure de potassium saturé.

– Dispositif potentiométrique amplificateur spécialement construit pour la mesure du pH (pH-mètre).

III.2.2 Calcium

La spectrométrie d'absorption atomique à flamme air–acétylène (SAA) et à plasma induit à haute fréquence (ICP) permet de déterminer avec exactitude la teneur en calcium de l'eau. Deux autres méthodes, le titrage au permanganate et le titrage avec l'acide éthylène diamine tétraacétique ou avec ses sels (EDTA), donnent de bons résultats dans le cas des analyses de contrôle ou de routine en présence de concentrations plus élevées. La méthode de titrage avec l'EDTA est préférable à la méthode au permanganate en raison de sa simplicité et de sa rapidité.

III.2.3 Sodium

On utilise la méthode par spectrométrie d'émission de flamme, cette méthode permet de doser les alcalins et les alcalinoterreux.

Effectuer le dosage le plus rapidement possible après le prélèvement. Si l'échantillon contient des matières en suspension, le filtrer au préalable pour éviter l'encrassement du brûleur.

Nébuliser l'échantillon dans une flamme air-acétylène en intercalant de l'eau permutée entre chaque solution

Effectuer les lectures au spectromètre de flamme à la longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et 766,5 nm pour le potassium. Régler le zéro de l'appareil avec de l'eau déionisée. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

III.2.4 Potassium

On utilise Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP)La spectrométrie d'émission à l'aide d'un générateur inductif de plasma appelée ICP (Inductively Coupled Plasma) est une technique, relativement récente qui offre des possibilités intéressantes : une sensibilité en général supérieure à la spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, peu d'interférences, la détermination simultanée de nombreux éléments sur les appareillages multicanaux. Elle peut être associée à la spectrométrie de masse (ICP/MS) qui a l'avantage d'offrir une grande sensibilité pour le dosage des traces et de permettre l'analyse de presque tous les éléments du béryllium à l'uranium.

III.2.5 Magnésium

L'une des méthodes utilisées est la méthode de La spectrométrie d'absorption atomique, La spectrométrie d'absorption atomique est une technique qui s'est largement développée ces dernières années mais dont le phénomène de base était connu depuis très longtemps. Les séduisantes possibilités de la méthode et en particulier sa rapidité, l'ont fait adapter au dosage d'un certain nombre d'éléments rencontrés dans les eaux.

En spectrométrie d'absorption atomique (SAA) on utilise un générateur de photons dont la fréquence correspond à l'élément à doser. Une population d'atomes, générée par un atomiseur à partir de l'échantillon, est éclairée par ce rayonnement lumineux de longueur d'onde donnée. Les atomes absorbent cette énergie incidente pour passer du niveau fondamental au niveau énergétique excité et le nombre de photons absorbés dans ce rayonnement incident peut être relié à la concentration par la relation :

$$A = k\,C$$

A = absorbance,

C = concentration de l'élément considéré dans la solution à analyser, k = coefficient spécifique à chaque élément.

III.2.6 Chlorure

La méthode de Mohr est une méthode de titrage des chlorures. Elle consiste en un dosage argentimétrique des ions chlorures par le nitrate d'argent en présence de chromate de sodium. Ce dernier est l'indicateur coloré qui réagit en fin de dosage pour former le chromate d'argent, apparaissant comme un précipité rouge brique1. Cette méthode doit son nom au pharmacien allemand Karl Friedrich Mohr.

L'argentimétrie (ou argentométrie) désigne un ensemble de méthodes de titrage par précipitation ayant pour point commun d'utiliser une solution contenant des ions Ag^+ . La solution titrante est généralement une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$). L'espèce dosée est un anion comme les halogénures, thiocyanates (SCN^-), cyanures (CN^-), mercaptants et acides gras.

III.2.7 Sulfate

Un échantillon d'eau est injecté et entraîné par une solution de carbonates et de bicarbonates dans une colonne chromatographique (échange d'anions). Les anions présents dans l'échantillon sont séparés en fonction de leur affinité relative pour le matériel de la colonne. Ils sont identifiés

à partir de leur temps de rétention et dosés à l'aide d'un détecteur conductivimétrique. La conductivité mesurée est proportionnelle à la concentration de chaque anion dans l'échantillon.

III.2.8 Bicarbonate

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes.

D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates, citrates, tartrates… La silice ionique peut aussi interférer notamment lorsque le pH est supérieur à 8,5.

On distingue comme pour la mesure de l'acidité, deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

L'unité utilisée est le degré français (1°f = 10 mg. L-1 de $CaCO_3$ = 0,2 milliéquivalent. L-1).

Les mesures sont réalisées en neutralisant un certain volume V0 d'eau par de l'acide sulfurique ou chlorhydrique de normalité Na, en présence de phénolphtaléine pour le TA et en présence d'hélianthine pour le TAC.

Soit V' le volume d'acide versé lors du virage de la phénolphtaléine, et soit V'' le volume de ce même acide versé lors du virage de l'hélianthine.

L'équivalence, pour une réaction acido-basique, est obtenue pour Na.Va = Nb.Vb soit ici : N1.V0 = Na.V' et N2.V0 = Na.V'' ,où N1 représente le TA et N2 le TAC en éq.L-1.

La solution d'acide sulfurique utilisée est environ 0,04 N (soit environ 0,02 mol.L-1).

• Réaliser l'étalonnage de la solution d'acide sulfurique. Vous préciserez le nom du réactif utilisé,

l'équation-bilan du dosage, le nom de l'indicateur coloré, le volume de solution d'acide prélevé ainsi quela valeur du volume à l'équivalence.

• En déduire la normalité de la solution d'acide sulfurique

Mesure du TA :

• Réaliser la manipulation permettant de mesurer TA avec 50 mL d'eau à analyser.

• Expliquer la valeur obtenue. Exprimer alors le TA en degré français.

Mesure du TAC

• Réaliser la manipulation permettant de mesurer TAC avec 50 mL d'eau à analyser.

• Calculer la concentration en ions HCO3– en mol.L-1, puis en g.L-1

.Exprimer alors le TAC en degré français.

III.2.9 Nitrate

Méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine est une méthode pour la détermination de la somme des nitrates et des nitrites dans les échantillons aqueux. Elle est basée sur la méthode intitulée « Automated hydrazine reduction method » de « Standard methods for the evaluation of water and wastewater ».

Les nitrates sont d'abord réduits en nitrites par l'intermédiaire du sulfate d'hydrazine en milieu alcalin en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur. Les nitrites ainsi produits réagissent avec le sulfanilamide pour former un composé diazoïque en milieu acide, qui réagit avec le dihydrochlorure de N-1-naphthyléthylènediamine pour former un composé rose-violet dont l'absorbance à 520 nm est proportionnelle à la concentration des nitrites.

III.2.10 Conductivité électrique

Le conductimètre est un appareil qui mesure la capacité de l'eau de transporter un courant électrique connu comme la conductivité molaire (conductibilité électrolytique) qui s'exprime en siemens (S). Dans l'eau, les électrons ne circulent pas d'un groupe d'électrodes à un autre en raison des molécules d'eau, mais bien à cause des ions présents dans l'eau.

Les ions transportent les électrons et limitent la quantité d'électrons pouvant circuler dans l'espace selon le nombre d'ions disponibles ou capables d'assurer le transport. Plus la concentration est élevée, plus la circulation est bonne. L'eau pure en tant que telle est un mauvais conducteur, c'est pourquoi le conductimètre affichera un résultat de 0,0 dans l'eau de pluie, l'eau traitée par osmose inverse ou l'eau déminéralisée. En revanche, l'eau salée est un bien meilleur conducteur.

III.3 L'indice de la qualité d'eau CCME

Un indice de qualité de l'eau fournit un moyen pratique de résumer des données complexes sur la qualité de l'eau et faciliter sa communication à un public général. Le CCME indice de qualité de l'eau (1.0) est basé sur une formule élaboré par le ministère de la Colombie-Britannique Environnement, terres et parcs et modifié par l'Alberta Environnement. L'Index comprend trois éléments:

Portée - le nombre de variables ne répondant pas à les normes de qualité de l'eau; fréquence - le nombre de fois les normes ne sont pas atteints; et amplitude - le montant par dont les objectifs ne sont pas atteints. L'index produit un nombre compris entre 0 (mauvaise qualité de l'eau) et 100 (meilleure la qualité d'eau). Ces nombres sont divisés en 5 catégories descriptives pour simplifier la présentation.

Les variables, objectifs et période spécifiques utilisés dans l'index ne sont pas spécifiés et, en effet, pourrait varier d'une région à l'autre, selon les conditions locales.

Il est recommandé qu'au minimum, quatre variables échantillonnées au moins quatre fois être utilisées dans le calcul des valeurs indiciels. On s'attend également à ce que les variables et objectifs choisis fourniront des informations sur un site particulier.

L'indice peut être utilisé à la fois pour le suivi des changements à un site au fil du temps, et pour des comparaisons entre les sites. S'il est utilisé pour le but, il convient de veiller à ce qu'il y ait une base valable pour la comparaison. Les sites peuvent être comparés directement

seulement si les mêmes variables et objectifs sont utilisés; sinon, une comparaison de la capacité des sites à atteindre les objectifs pertinents doivent être atteints en termes de catégorie obtenue

Après le plan d'eau, la période de temps, et les variables et objectifs ont été définis, chacun des trois facteurs qui composent l'indice doivent être calculés. Le calcul de la F1 et de la F2 est relativement simple; F3 nécessite quelques étapes supplémentaires

F1 (Scope) représente le pourcentage de variables qui ne pas atteindre leurs normes au moins une fois pendant le temps période considérée («variables ayant échoué»), relative au nombre total de variables mesurées

$$F1 = \left(\frac{Number\ of\ failed\ variables}{Total\ number\ of\ variables}\right) \times 100$$

F2 (Frequency) représente le pourcentage de tests individuels qui ne répondent pas aux normes (tests échoués)

$$F2 = \left(\frac{Number\ of\ failed\ tests}{Total\ number\ of\ tests}\right) \times 100$$

F3 (Amplitude) représente le montant de l'échec les valeurs de test ne répondent pas à leurs objectifs. F3 est calculé en trois étapes.

1. Le nombre de fois par lequel un individu concentration est supérieure (ou inférieure à, lorsque la l'objectif est un minimum) l'objectif est appelé un «Excursion» et s'exprime comme suit. Quand le test la valeur ne doit pas dépasser les normes (objectifs) :

$$excursion i = \left(\frac{FailedTestValue i}{Objective j}\right) - 1$$

Pour les cas où la valeur de test ne doit pas être inférieure à l'objectif :

$$excursion i = \left(\frac{Objective j}{FailedTestValue i}\right) - 1$$

1. Le montant collectif par lequel les individus tests sont hors de conformité est calculé en résumant le des épreuves individuelles à partir de leurs objectifs et par le nombre total de tests (ces deux objectifs et ceux qui n'atteints pas les objectifs). Ce variable, appelée la somme normalisée de excursions, ou nse, est calculé comme :

$$nse = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} excursioni}{\#\ des\ tests} \right)$$

2. F3 est alors calculé par une fonction asymptotique qui met à l'échelle la somme normalisée des excursions d'objectifs (nse) pour donner une plage entre 0 et 100.

$$F3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right)$$

Une fois les facteurs obtenus, l'indice lui-même peut être calculé en additionnant les trois facteurs comme s'ils étaient des vecteurs. La somme des carrés de chaque facteur est donc égal au carré de l'indice. Cette approche traite l'index comme un espace tridimensionnel défini par chaque facteur le long d'un axe. Avec ce modèle, l'indice change en proportion directe avec les changements de tous trois facteurs.

CCME indice de la qualité d'eau (**CCME WQI**):

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

Le diviseur 1.732 normalise les valeurs résultantes à un champ entre 0 et 100, où 0 représente le

«Pire» qualité de l'eau et 100 représente la «meilleure» la qualité d'eau. [3]

Une fois la valeur CCMEWQI déterminée, la qualité de l'eau est classée en la reliant à l'une des catégories suivantes

Excellent: (CCME WQI Valeur 95-100) – qualité de l'eau est protégé par une quasi-absence de menace ou dépréciation; conditions très proches de niveaux naturels ou vierges

Bien: (CCME WQI Valeur 80-94) – qualité de l'eau est protégé avec seulement un degré mineur de menace ou déficience; conditions rarement s'écartent des niveaux naturels ou souhaitables

Juste: (CCME WQI Valeur 65-79) – qualité de l'eau est généralement protégé, mais occasionnellement menacés ou affaiblis; Conditions parfois s'écarter de naturel ou souhaitable Niveaux

Marginale : (CCME WQI Valeur 45-64) – qualité de l'eau est fréquemment menacée ou affaiblie; souvent s'écartent de la nature ou niveaux souhaitables

Pauvre : (CCME WQI Valeur 0-44) – la qualité de l'eau est presque toujours menacé ou altéré; conditions s'écartent généralement de la nature ou niveaux souhaitables

IV.RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Variation des paramètres de la qualité des eaux souterraines

Avant d'analyser et interpréter les variations des paramètres physicochimiques de région, nous avons calculé la balance ionique de chaque analyse pendant la période de 11 ans de 2008 à 2019 pour éliminer chaque analyse qui dépasse la valeur de 6%

Les paramètres choisis pour le calcul de l'indice de la qualité de l'eau sont : pH, Conductivité électrique, Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Chlorure, Sulfate, Bicarbonate et Nitrate.

Les résultats suivants représentent les moyennes concentrations des paramètres physicochimiques pour chaque forage.

Tableau 3: Tableau récapitulatif d'analyse physicochimique des eaux souterraines de la ville d'Aflou

Forage	Valeur	PH	Conductivité	Calcium	Magnesium	Sodium	Potasium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonate	Nitrates
	MOY	7.28	666.09	88.35	34.16	3.07	0.74	73.12	85.58	177.87	15.74
F1	ET	0.50	42.92	30.15	21.59	2.06	0.53	18.80	34.64	81.10	16.21
	CV	0.07	0.06	0.34	0.63	0.67	0.72	0.26	0.40	0.46	1.03
	MOY	7.41	758.60	112.18	29.65	3.92	0.57	106.14	134.24	174.35	14.86
F2	ET	0.36	483.34	65.57	15.54	3.95	0.36	90.64	103.36	63.24	16.32
	CV	0.05	0.64	0.58	0.52	1.01	0.63	0.85	0.77	0.36	1.10
	MOY	7.18	662.33	72.80	21.26	2.29	0.38	63.67	53.90	158.20	13.72
F3	ET	0.45	454.05	16.73	15.86	0.99	0.13	25.75	25.10	81.32	9.54
	CV	0.06	0.69	0.23	0.75	0.43	0.35	0.40	0.47	0.51	0.70
	MOY	7.14	541.20	68.12	28.70	12.74	5.04	63.58	93.28	141.90	14.42
F5	ET	0.64	33.25	24.89	12.21	10.25	6.05	10.16	32.74	24.27	7.42
	CV	0.09	0.06	0.37	0.43	0.80	1.20	0.16	0.35	0.17	0.51
	MOY	7.08	539.13	74.11	27.62	8.09	2.89	55.70	81.41	177.67	18.29
F6	ET	0.56	20.48	32.06	14.46	8.22	4.92	14.15	36.36	39.41	12.13
	CV	0.08	0.04	0.43	0.52	1.02	1.70	0.25	0.45	0.22	0.66
	MOY	7.18	694.33	72.77	44.19	29.65	2.35	84.33	110.85	187.66	10.39
F8	ET	0.32	7.51	24.78	14.16	6.58	1.48	20.26	29.53	28.65	7.63
	CV	0.04	0.01	0.34	0.32	0.22	0.63	0.24	0.27	0.15	0.73
	MOY	7.21	991.67	110.23	57.03	57.10	2.50	127.98	110.41	225.43	38.31
F10	ET	0.66	128.93	36.71	35.44			34.52	94.44	99.19	19.93
	CV	0.09	0.13	0.33	0.62			0.27	0.86	0.44	0.52
	MOY	7.32	764.00	92.43	41.71	7.57	2.25	73.97	112.15	201.37	27.75
F11	ET	0.57	185.48	49.61	28.71	8.21	3.41	13.63	54.07	44.95	30.49
	CV	0.08	0.24	0.54	0.69	1.08	1.52	0.18	0.48	0.22	1.10
	MOY	6.97	695.75	97.38	39.46	6.19	1.11	70.61	133.75	164.21	24.95
F12	ET	0.44	86.46	35.64	23.60	8.51	0.76	27.93	66.49	84.96	21.48
	CV	0.06	0.12	0.37	0.60	1.38	0.68	0.40	0.50	0.52	0.86
	MOY	7.36	1337.80	114.54	56.31	20.65	0.90	159.20	206.12	162.08	17.90
F12 BIS	ET	0.45	670.83	62.14	60.29	24.54	0.57	82.26	132.95	46.42	20.31
	CV	0.06	0.50	0.54	1.07	1.19	0.63	0.52	0.65	0.29	1.13
	MOY	6.79	477.00	65.66	29.66	9.15	1.80	51.93	85.43	151.25	8.80
F13	ET	0.44	22.81	20.06	18.58	9.69	1.84	16.61	34.33	80.72	8.17
	CV	0.06	0.05	0.31	0.63	1.06	1.02	0.32	0.40	0.53	0.93
	MOY	6.93	498.00	58.77	35.67	16.00	3.10	55.33	100.63	178.63	15.11
F14	ET	0.60	19.08	20.56	17.92			9.34	47.20	80.25	12.54
	CV	0.09	0.04	0.35	0.50			0.17	0.47	0.45	0.83
	MOY		524.00	80.15	16.00	16.00	3.20	56.95	90.40	136.20	9.30
F15	ET		8.49	28.35	15.56			9.83	48.65	45.54	7.21
	CV		0.02	0.35	0.97			0.17	0.54	0.33	0.78
	MOY	6.89	714.50	92.18	36.60	25.00	3.30	102.60	91.20	157.00	4.80
F16	ET		50.20	11.34	13.58			24.61	6.79	1.41	2.69
	CV		0.07	0.12	0.37			0.24	0.07	0.01	0.56
	MOY		647.00	38.00	54.80	22.00	3.40	113.00	111.00	104.00	5.20
F17	ET										
	CV										
	MOY	7.27	618.50	24.05	57.15	21.00	3.50	78.06	105.00	183.53	8.23
F18	ET		3.54	5.66	5.16			20.15		38.93	6.12
	CV		0.01	0.24	0.09			0.26		0.21	0.74
	MOY	7.34	751.50	34.07	55.72			78.05	96.00	158.00	13.27
F19	ET	0.32	16.26	8.51	24.44			10.11		0.01	0.75
	CV	0.04	0.02	0.25	0.44			0.13		0.00	0.06

D'ou :

MOY :Moyenne

ET :Ecart type

CV :Coefiicient de variation

IV.1.1 pH

Les valeurs du pH dans la région d'étude varient entre 6.78 à 7.41. Ces derniers respectent les normes de l'OMS et les normes algériennes de qualité des eaux. Les valeurs permissibles de pH sont variées de 6.5 à 8.5. La valeur maximale de pH est enregistrée dans le forage F2

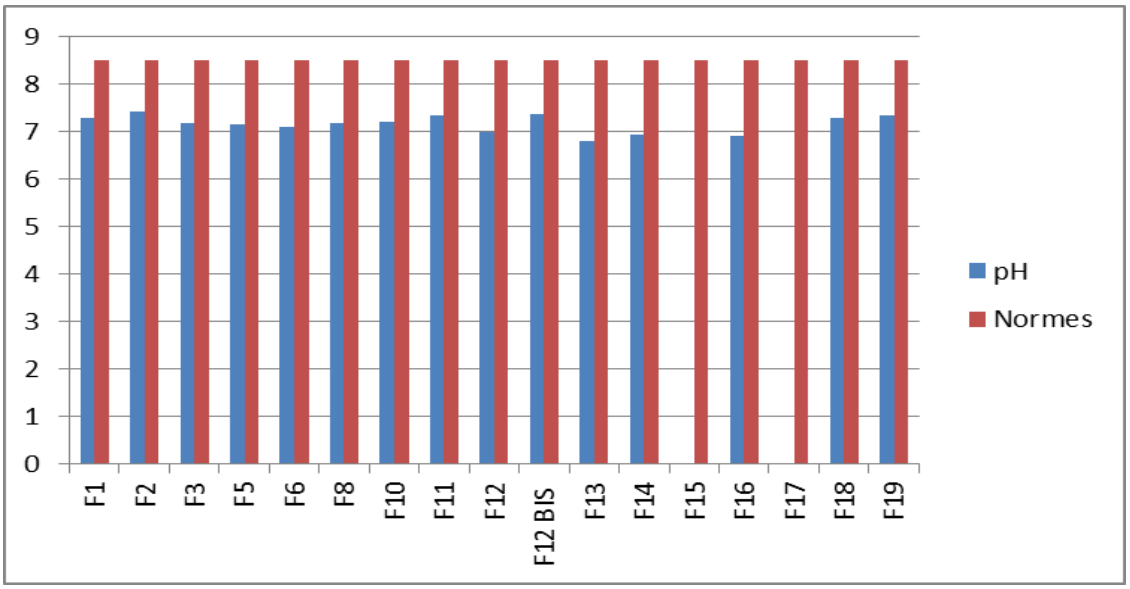


Figure 6 concentrations moyennes de pH

IV.1.2 Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique de la région d'étude varient de 477 à 1337 uS/cm, selon les normes d'OMS et les normes algériennes, la valeur de la conductivité électrique ne doit pas être supérieure à 2800 uS/cm, donc tous les observations dans la région montrent que les analyses respectent ces normes. La valeur max est observée pour le forage F12 BIS.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau mais très approximativement.

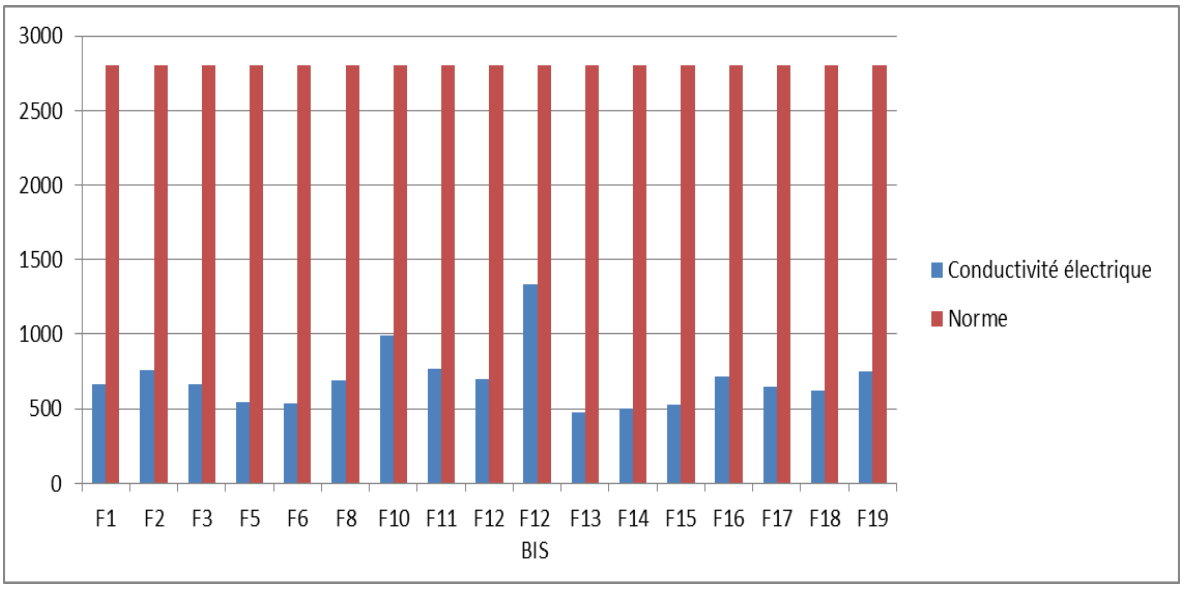


Figure 7 valeurs moyennes de Conductivité électrique

IV.1.3 Calcium

Les valeurs du calcium dans la région varient entre 24 à 114 mg/l. Selon les normes Algériennes et l'OMS, la valeur maximale de calcium ne doit pas être supérieure à 200 mg/l. Tous les résultats d'analyses de calcium dans la région respectent la valeur permissible recommandé. Les valeurs max de calcium dans la région sont observé dans les forages F12 BIS.

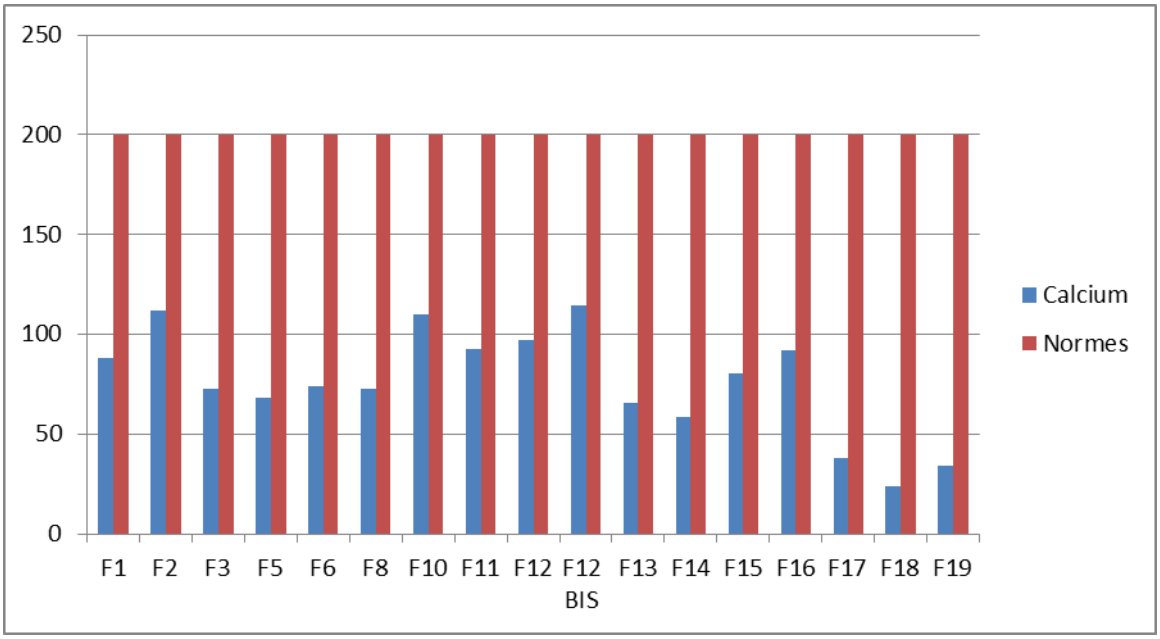


Figure 8 concentrations moyennes de Calcium

IV.1.4 Magnésium

Lla valeur permissible recommandé par l'OMS et les autorités algériennes par 150 mg/l, Les valeurs de concentration de magnésium dans la région indiquent que la concentration de magnésium respectant les normes, Le magnésium est l'un des principaux facteurs de la dureté de l'eau, laquelle est étudiée dans une autre section. Il peut aussi donner mauvais goût à l'eau. Selon certains travaux, le seuil de détection gustative du magnésium serait de 100 mg/L pour un sujet sensible, et d'environ 500 mg/L pour l'individu moyen. [55]

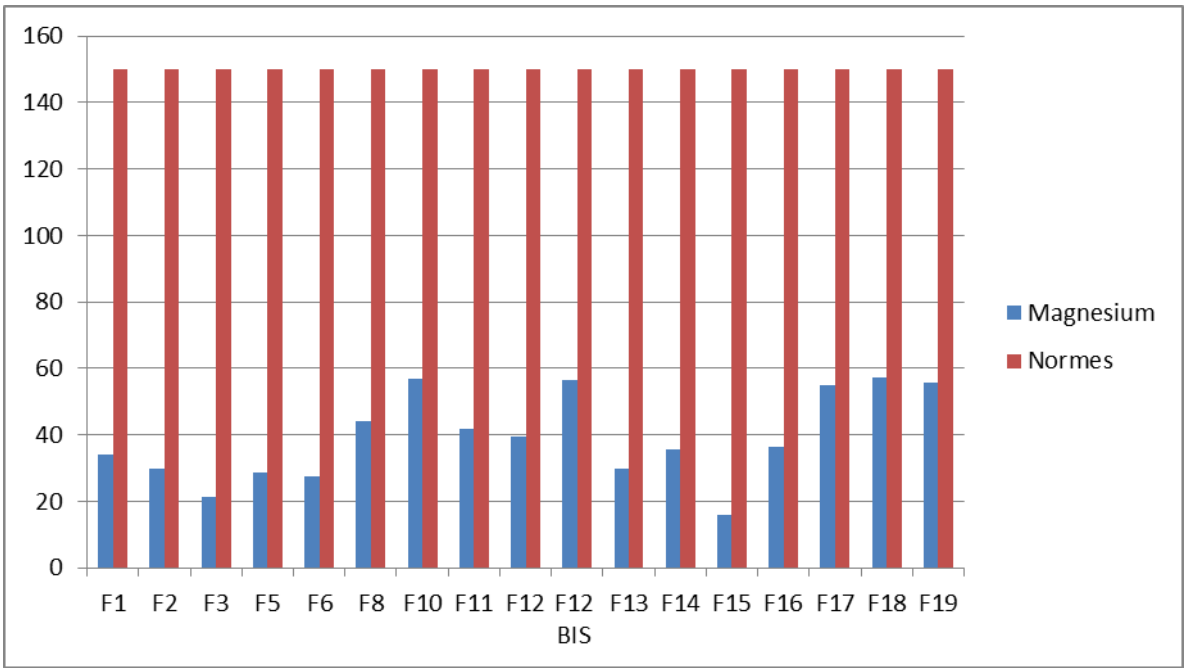


Figure 9 concentrations moyennes de Magnésium

IV.1.5 Sodium

Les valeurs observées des concentrations moyennes de sodium dans la région indiquent que tous les concentrations moyennes respectant la valeur recommandée par l'OMS et les recommandations algériennes par une valeur maximale permissible de 200 mg/l, la valeur moyenne maximale observée dans la région est 57.1 mg/l dans le Forage 10.

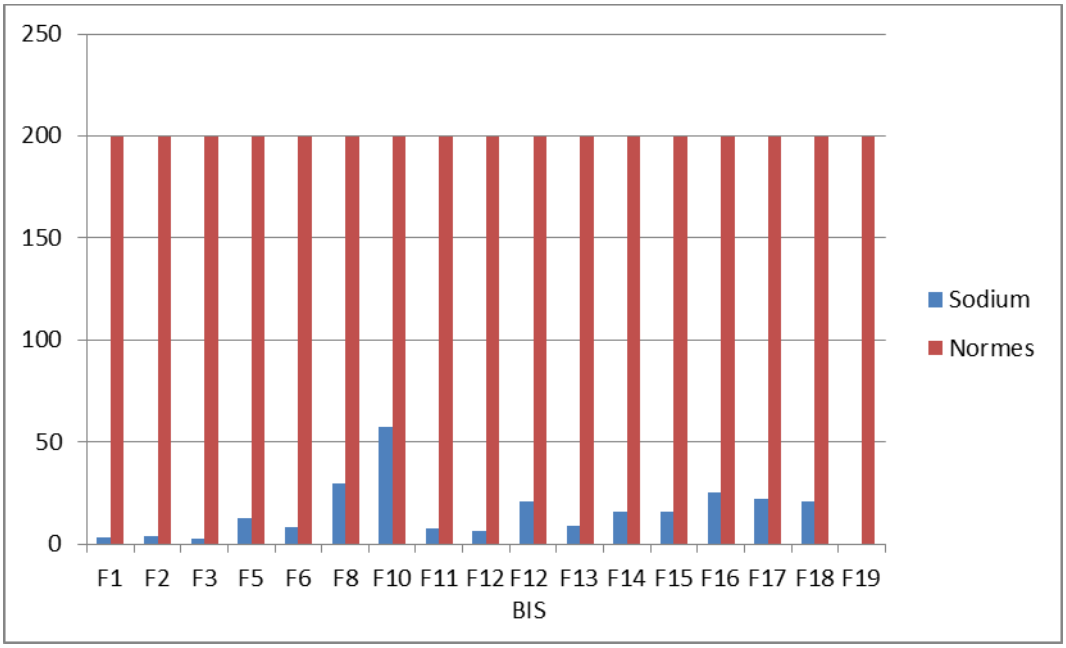


Figure 10 Concentrations moyennes de Sodium

IV.1.6 Potassium

Les valeurs observées des concentrations moyennes de potassium dans la région indiquent que tous les concentrations moyennes respectant la valeur recommandée par l'OMS et les recommandations algériennes par une valeur maximale permissible de 50 mg/l, la valeur moyenne maximale observée dans la région est 5.04 mg/l.



Figure 11 Concentrations moyennes de Potassium

IV.1.7 Chlorure

Les valeurs moyennes de Chlorure dans la région indiquent que toutes les valeurs de concentrations dans les forages respectant les recommandations déterminées par l'OMS et les normes algériennes par une valeur maximale permissible de 500 mg/l, la valeur maximale observé dans la région est 159 mg/l dans le forage F12 BIS .



Figure 12 Concentrations moyennes de chlorure

IV.1.8 Sulfate

Les valeurs des concentrations des sulfates dans la région respectant les recommandations déterminées par l'OMS et les autorités algériennes par une valeur maximale permissible de 400 mg/l.

Les sulfates peuvent nuire à la désinfection de l'eau en piégeant le chlore résiduel dans les réseaux de distribution. [56] La présence de sulfates (sels) dans l'eau pourrait favoriser la corrosion de l'acier doux dans les systèmes d'alimentation. . [57] Les bactéries sulfatoréductrices peuvent jouer un rôle dans la tuberculisation des tuyaux métalliques. Le sulfure d'hydrogène produit par ces bactéries peut réduire la qualité esthétique de l'eau en lui donnant une odeur et un goût déplaisants, et accélérer la corrosion des tuyaux de métal et de béton. [58] [59]

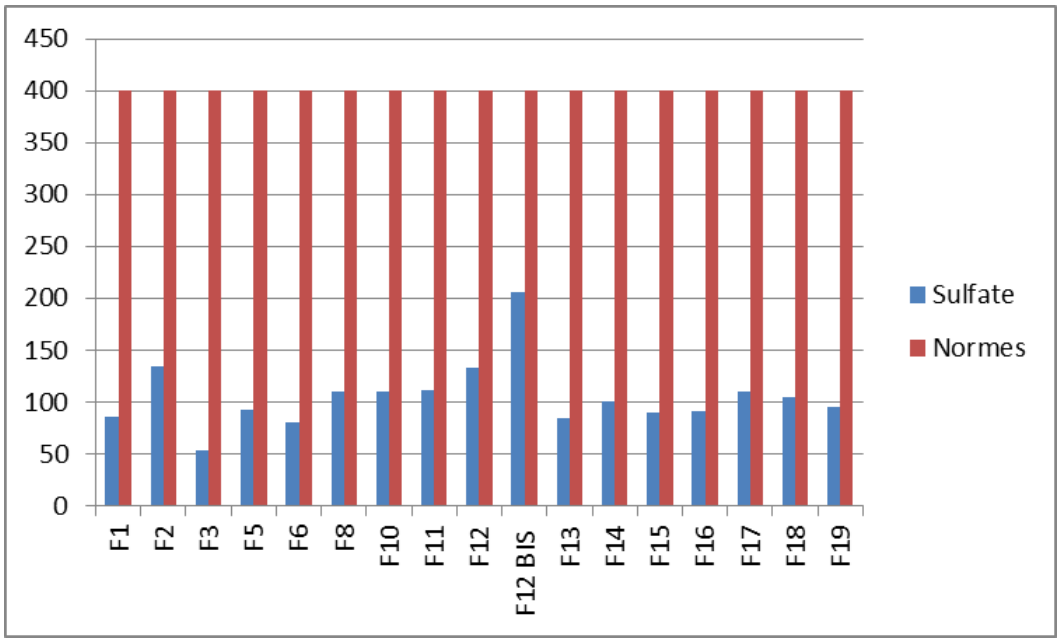


Figure 13 Concentrations moyennes du Sulfate

IV.1.9 Bicarbonate

On observe que tous les valeurs de concentrations moyennes de bicarbonate dans la région respectent la valeur recommandé par l'OMS et les normes algériennes par une valeur maximale de 350 mg/l. La valeur maximale observée est dans le forage F10 avec une valeur de 225 mg/l.

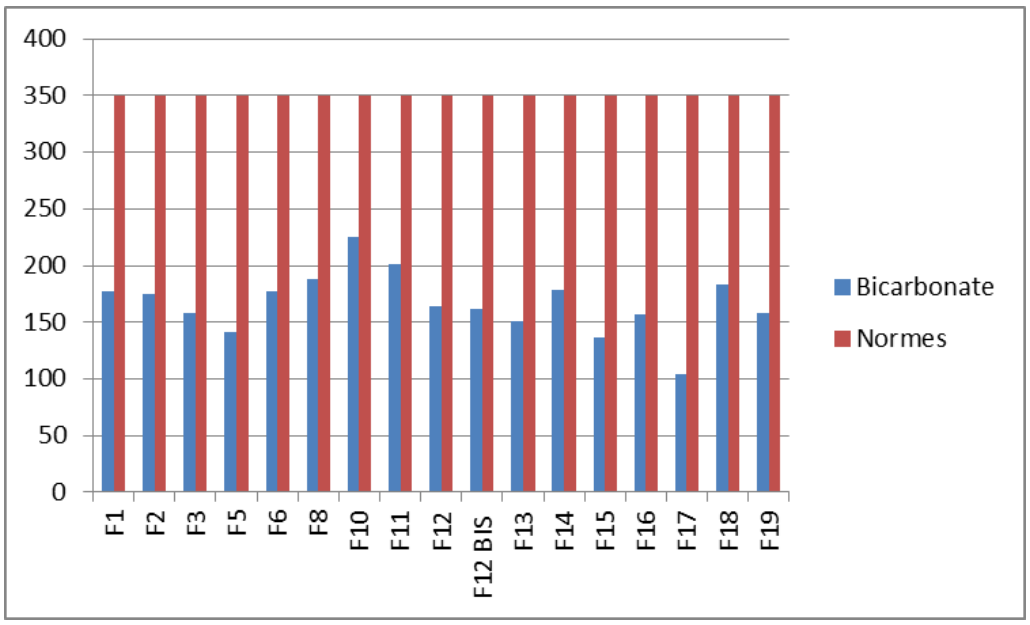


Figure 14 Concentrations moyennes de Bicarbonate

IV.1.10 Nitrate

La figure au-dessous montre que toutes les valeurs de concentration de nitrates dans la région respectent la valeur recommandée par l'OMS et les autorités algériennes par une valeur maximale permissible de 50 mg/l. La valeur maximale observée est dans le forage F10 par une valeur de 38.3 mg/l.

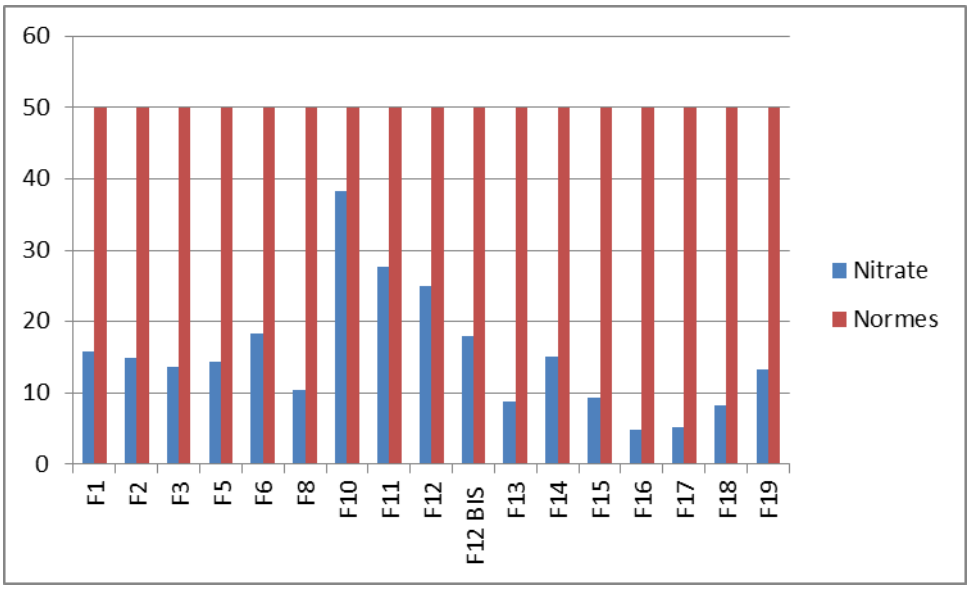


Figure 15 Concentrations moyennes de Nitrate

IV.2 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. La figure 15 montre une seule faciès chimique de la nappe d'Aflou. On observe que toutes les analyses d'eau dans la région d'Aflou sont situés dans le faciès : sulfatée calcique. On observe aussi que les acides forts sont supérieurs à les acides faibles.

On observe aussi que les alcalinoterreux sont supérieures a

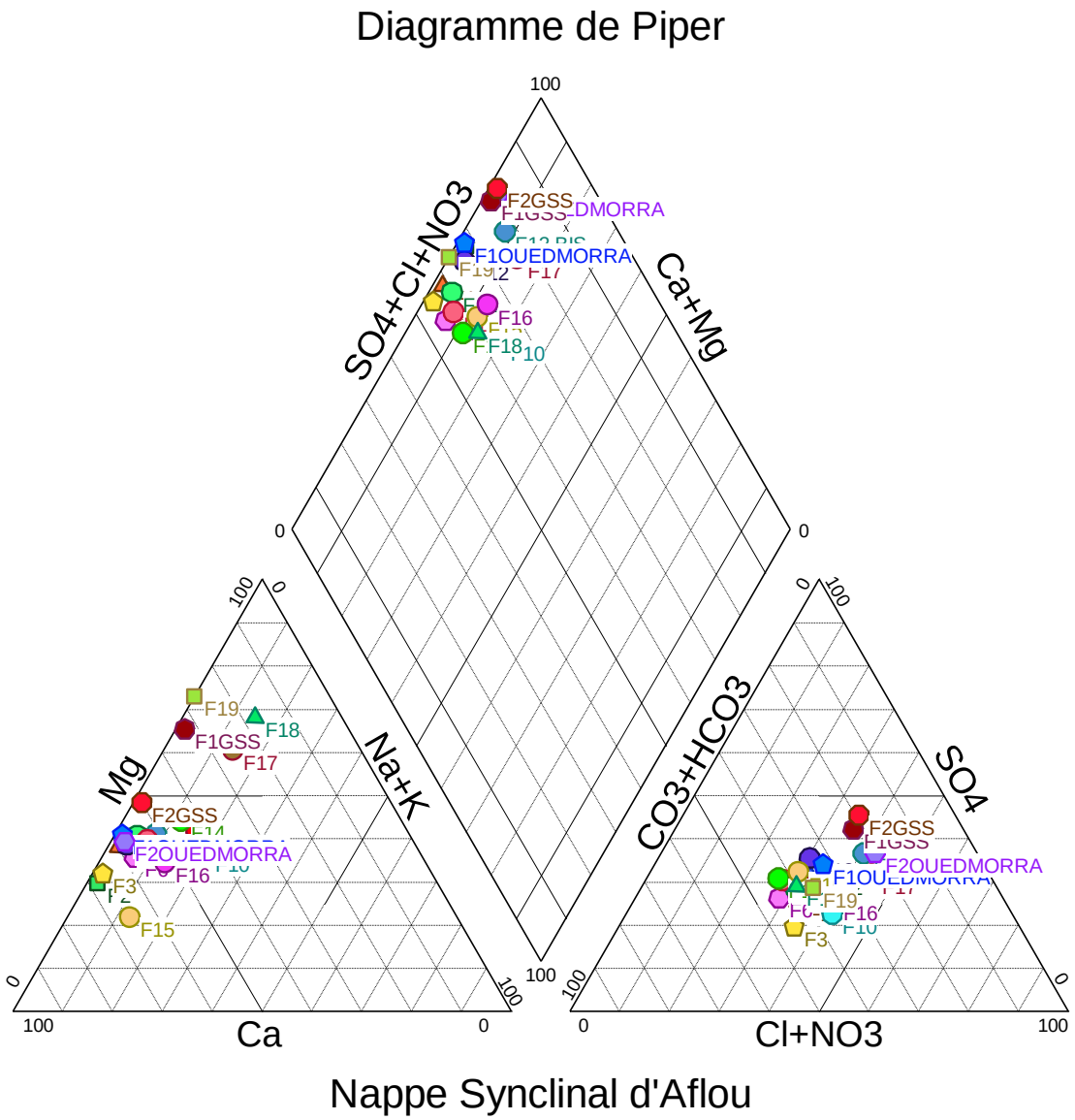


Figure 16 : diagramme de piper de la nappe du synclinal d'Aflou

IV.3 Diagramme de Schoeller Berkaloff

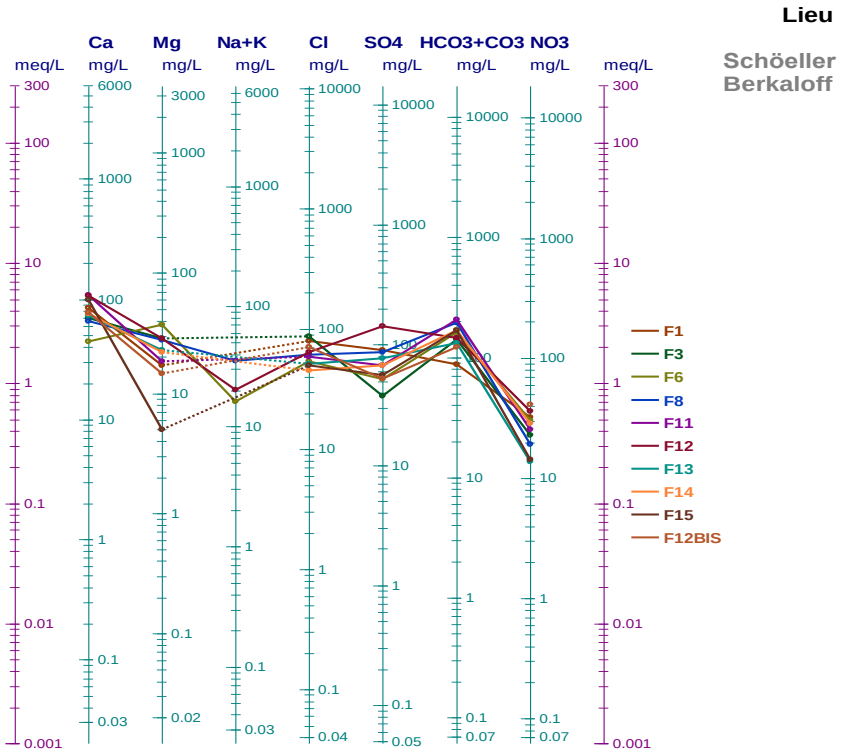


Figure 17Diagramme de Schoeller de la qualité des eaux souterraines de la ville d'Aflou (2008-2013)

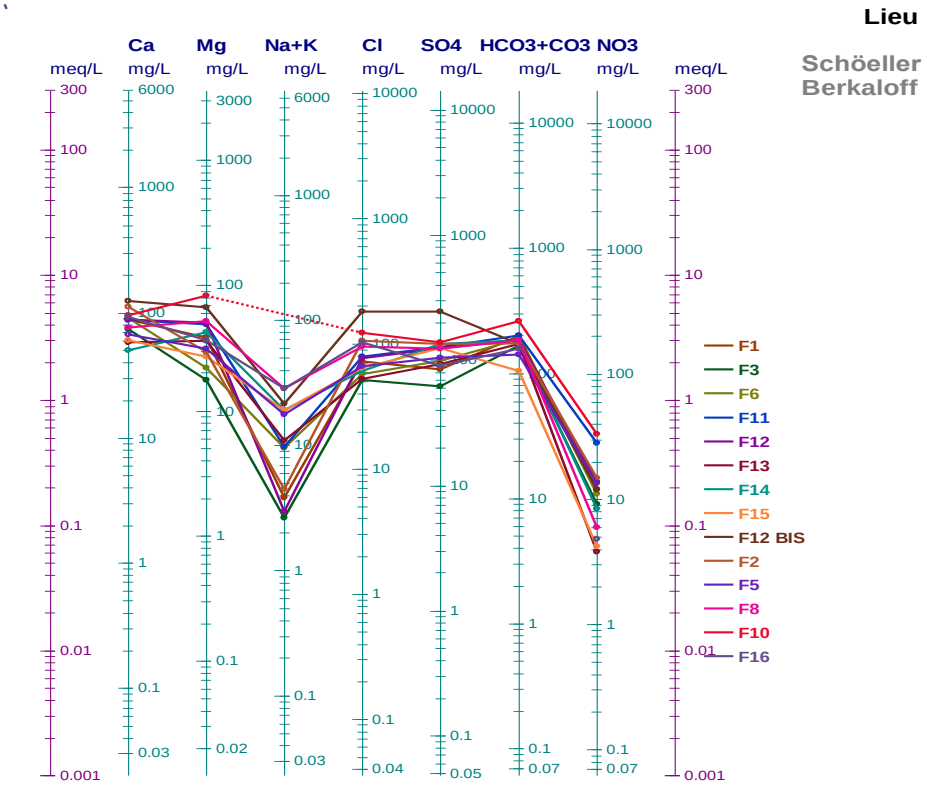


Figure 18 Diagramme de Schoeller de la qualité des eaux souterraines de la ville d'Aflou (2014-2019)

Diagramme de Schoeller berkaloff donne la minéralisation, en se basant sur des axes verticaux gradués selon une échelle logarithmique. Les teneurs exprimées en mg/L sont reportées sur les axes, puis relie par des droites. On observe dans la figure 18 qui représente la qualité des eaux souterraines de la ville f Aflou de la période de 2008- 2013 qu'il y a une bonne corrélation entre les concentrations des eaux des forages différents de la région. Par contre, on observe dans la figure 17 qu'il y a certaines concentrations qui ne sont pas corrélés avec les concentrations observées dans la région dans des paramètres comme le magnesium en F15 avec 5 mg/l, mais ils n'ont pas un effet négatif sur la qualité générale des eaux.

IV.4 Calcul de l'indice de la qualité de l'eau

Tableau 4 : Résultats de calcul du CCME IQE

Forage	CCME WQI	CCME IQE Catégorie
F1	88.3	BIEN
F10	93.1	BIEN
F11	88.2	BIEN
F12	94.2	BIEN
F12 BIS	94.1	BIEN
F13	94.1	BIEN
F14	100	EXCELLENTE
F15	100	EXCELLENTE
F16	100	EXCELLENTE
F17	100	EXCELLENTE
F18	100	EXCELLENTE
F19	100	EXCELLENTE
F2	94.1	BIEN
F3	100	EXCELLENTE
F5	94.1	BIEN
F6	94	BIEN
F8	100	EXCELLENTE

On observe que les valeurs calculés de l'indice varient entre des valeurs minimale et maximale qui sont : 88.2 et 100 respectivment. Selon le classement des valeurs du CCME IQE, les forages F14, F15, F16, F17, F18 et F19 ont une qualité EXELLENTE. Les forages F1, F10, F11, F12, F12BIS, F13, F2, F5 et F6 ont une BON qualité.

IV.5 Variation temporelle de la qualité de l'eau

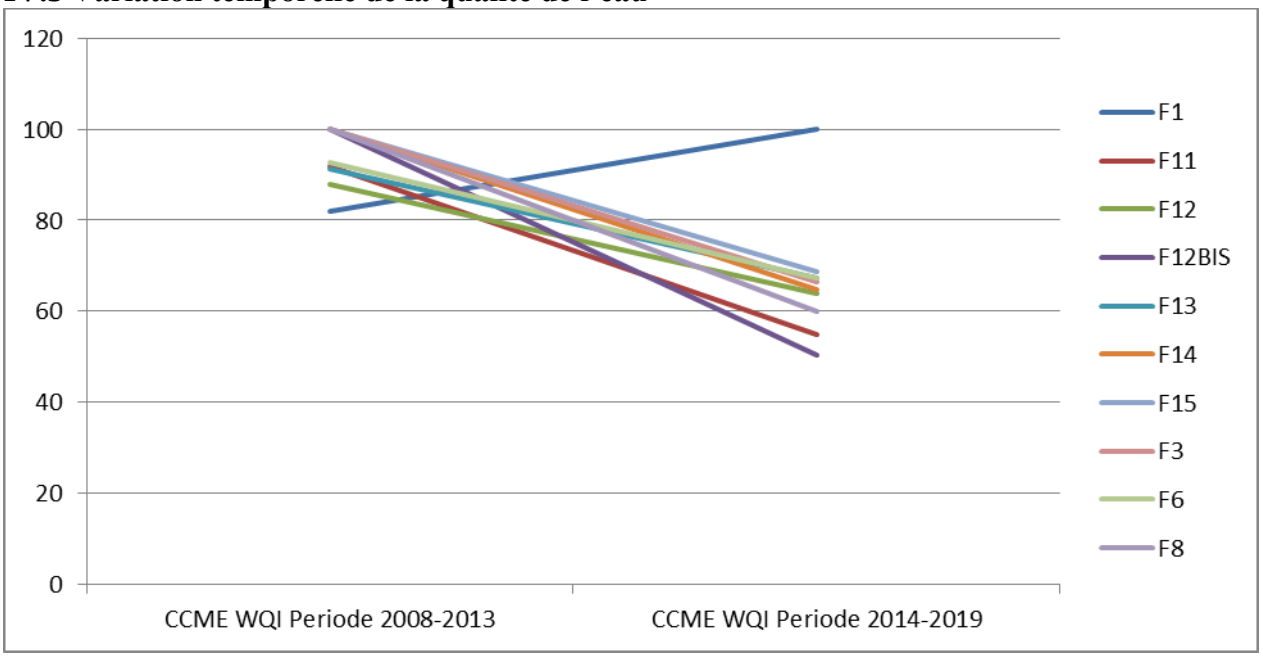


Figure 19 Variation temporelle de l'indice CCME

On observe dans la figure 19 une dégradation de la qualité de tous les forages de la région de la ville d'Aflou sauf le forage F1, ces résultats ne sont pas fiables à cause de manque des données adéquates recommandées par l'indice qui permet de tenir des bons résultats

IV.4 Cartographie de la qualité de l'eau

En raison de la localisation de la majorité des forages dans la ville d'Aflou, l'établissement d'une carte généralisées est presque impossible. Vue le manque de résultats d'analyses fiables pour l'ensemble du syclinal, l' interpolation pour l'ensemble de la zone d'étude devient impossible. La carte en dessous represente la distrubition spatial de la qualité de l'eau selon l'indice de CCME de la région d' Aflou.

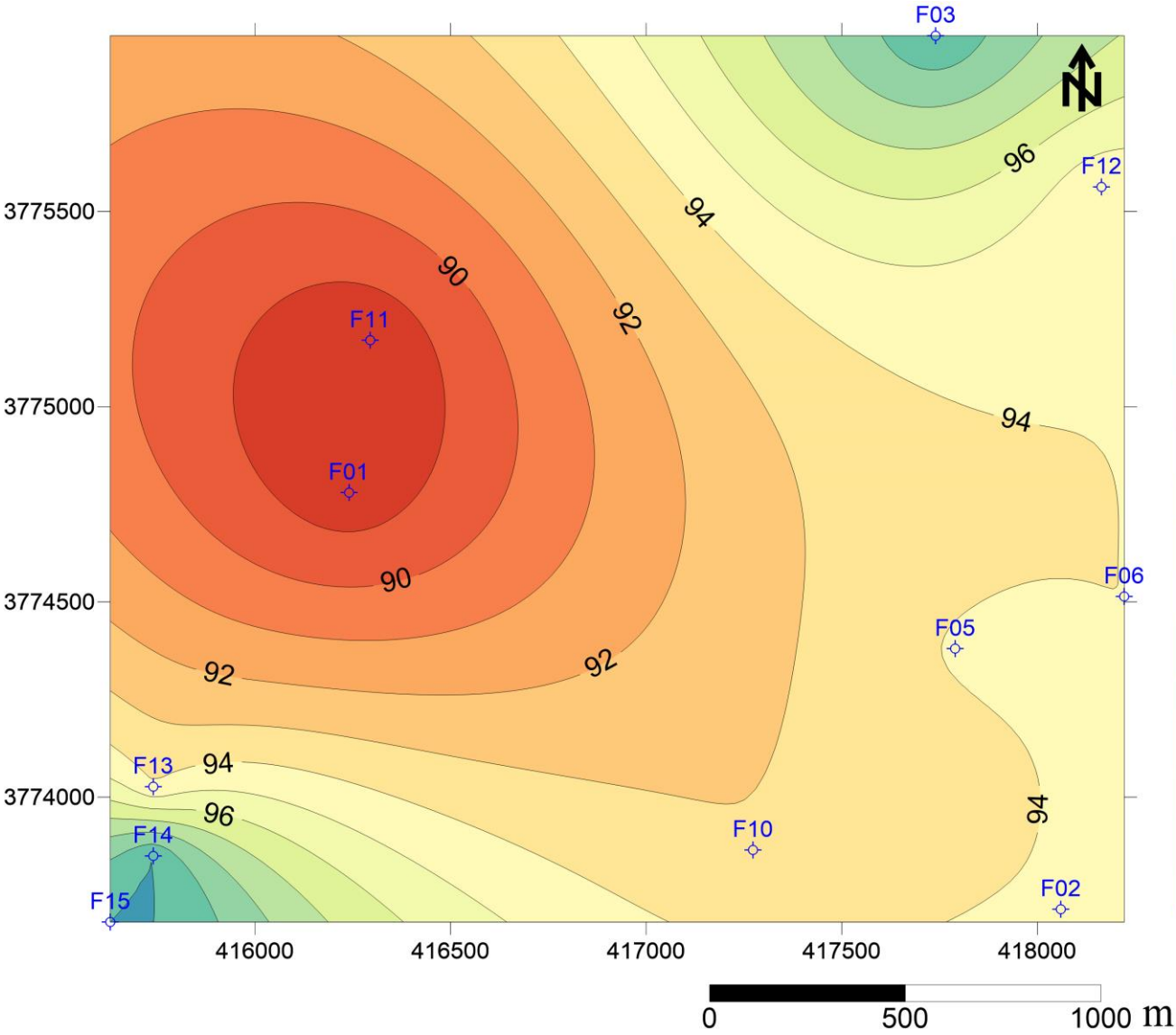


Figure 20: cartographie de la distrubiton spatial de la qualité de l'eau en CCME pour la région d'Aflou

CHAPITRE V : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

V.1 CONCLUSION ET RECOMANDATIONS

V.1 Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la nappe d'Aflou en utilisant l'indice de la qualité de l'eau CCME. Cela peut se faire pour l'ensemble des paramètres (pH, conductivité électrique, calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorure, sulfate, bicarbonate et nitrate) et qui conduit au calcul d'une seule valeur de l'indice CCME pour chaque forage et pour une période de 12 ans (2008-2019).

Les données disponibles d'analyses physicochimiques pour les forages situés dans la ville d'Aflou sont prélevées pendant une période de 12 ans (2008-2019). Les résultats obtenus sont ensuite comparés avec les normes recommandées par l'OMS et les autorités Algériennes des eaux destiner à la consommation humaines.

Les résultats montrent que la plupart des paramètres physicochimiques analysés respectant les normes sauf le forage F1GSS qui a deux paramètres qui sont le magnésium et le bicarbonate qui dépassent les normes recommandées.

Les résultats du calcul ont montrés que 38% des forages de la région d'étude ont une qualité EXELLENT et 57% ont une qualité GOOD, tandis que les 1% restants de qualité FAIR.

Les résultats calculés ont été utilisés pour créer une carte de distribution spatiale de la qualité de l'eau dans la région d'étude en utilisant les outils du SIG tel que la méthode IDW.

L'utilisation du système d'information géographique en parallèle avec IQE est très utile pour mieux surveiller les changements temporel et spatial de la qualité de l'eau.

CHAPITRE V : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

V.2 Recommandations

1. Il est recommandé de faire des analyses périodiques pour observer les effets des changements saisonniers sur la qualité de l'eau.
2. Il est recommandé de faire les analyses microbiologiques pour détecter et observer la pollution de la nappe.
3. Il est recommandé de faire des analyses des métaux lourds en raison de leur effet nocif sur la santé humaine.
4. Il est recommandé de réaliser plus des forages de surveillance (Monitoring Wells) à travers l'ensemble de la nappe pour surveiller sa qualité d'eau. Cette surveillance peut faciliter la détection d'incidents de pollution et avoir une information sur la diffusion de la pollution à travers la nappe.

Références bibliographiques

[1] Sekkoum, Khaled & Fouzi, Talhi & Abdelkrim, Cheriti & Younes, Bourmita & Belboukhari, Nasser & Boulenouar, Noureddine & Taleb, Safia. (2012). Water in Algerian Sahara: Environmental and Health. 10.5772/50319.

[2]Saidi, Salwa & Bouri, Salem & Anselme, Brice & Dhia, Hamed. (2012). Guideline for Groundwater Resource Management Using the GIS Tools in Arid to Semi Arid Climate Regions. 10.5772/30178.

[3] Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report.2001 .

[4] Margat, Jean & van der Gun, Jac. (2013). Groundwater around the World: A Geographic Synopsis.

[5] Vörösmarty, Charles & Douglas, Ellen & Green, Pamela & Revenga, Carmen. (2005). Geospatial Indicators of Emerging Water Stress: An Application to Africa. Ambio. 34. 230-6. 10.1579/0044-7447-34.3.230.

[6] Travi Yves. Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines. Strasbourg : Institut de Géologie – Université Louis-Pasteur, 1993. 176 p. (Sciences Géologiques. Mémoire, 95)

[7] S, Selvam & Dar, Farooq & Magesh, N.S. & Singaraja, Chelladurai & Senapathi, Venkatramanan & Chung, Sang Yong. (2015). Application of remote sensing and GIS for delineating groundwater recharge potential zones of Kovilpatti Municipality, Tamil Nadu using IF technique. Earth Science Informatics. 10.1007/s12145-015-0242-2.

[8] Plan National de l'eau (PNE). 2005. Etude d'actualisation et de finalisation du plan national de l'eau (PNE) - Régions hydrographiques Centre et Est. Rapport de mission 2 – Volet 4 – Hydrologie, entreprise par BCEOM-BG-SOGREAH/MRE.

[9] Brown, Robert & McClelland, Nina & Deininger, Rolf & O'Connor, Michael. (1972). A Water Quality Index — Crashing the Psychological Barrier. 10.1007/978-1-4684-2856-8_15.

[10] Câmara, Gilberto & Monteiro, Antonio & Fucks, Suzana & S, Marlia. (2004). Spatial Analysis and GIS: A Primer.

[11] Sárközy, F.. (1999). GIS functions - interpolation. 43. 63-86.

[12] Childs, Colin. "Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst." ArcUser, July-September 3235.569 (2004): 32-35.

[13] Santé Canada (2015). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique — Le pH. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). (N° de catalogue H14428/2016F-PDF).

[14] Day, E.H. The chemical elements in nature. George C. Harrap & Co., London, U.K. (1963).

[15] Klein, D.H. Fluxes, residence times and sources of some elements to Lake Michigan. Water Air Soil Pollut., 4: 3 (1975).
[16] Overrein, L.N. Sulfur pollution patterns observed: leaching of calcium in forest soil determined. Ambio, 1: 145 (1972).

[17] Sienko, M.J. et Plane, R.A. Chemical principles and properties, 2e édition. McGraw-Hill, New York, NY (1974).

[18] Monsen, E. R. et Cook, J. D. Food iron absorption in human subjects -- IV. The effect of calcium and phosphate salts on the absorption of non-heme iron. Am. J. Clin. Nutr., 29 : 1142 (1976).

[19] Kim, Y. et Linkswiler, H. Effect of level of calcium and phosphorus intake on calcium, phosphorus and magnesium metabolism in young adult males. Fed. Proc., 115 : 167 (1979).

[20] Hines, R. G., Jacobson, J. L., Beitz, D. C. et Littledike, E. T. Dietary calcium and vitamin D: risk factors in the development of atherosclerosis in young goats. J. Nutr., 115 : 167 (1985).

[21] Weast, R.C. (dir. de publ.). Sodium. Dans : Handbook of chemistry and physics.52e édition. CRC Press, Cleveland, OH (1971-1972).

[22] Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Outlines of analytical methods: a guide to the occurrence, significance, sampling and analysis of chemical and microbiological parameters in water, sediment, soil, vegetation and air. Coordination de la Water Quality Section, Laboratory Services Branch, Toronto (1981).

[23] Organisation mondiale de la santé. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Ch. 16.Genève. p. 145 (1984).

[24] Santé Canada (2008). Document de conseils sur le potassium provenant des adoucisseurs d'eau. Ottawa (Ontario), Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs Santé Canada, Ottawa (Ontario).

[25] Day, F.H. Dans: The chemical elements in nature. George C. Harrap & Co., Londres, R.-U. (1963).

[26] Bech, A.V. (dir. de publ.). The technology of magnesium and its alloys. 3e édition. (Cité par la McGraw-Hill encyclopedia of science and technology. McGraw-Hill [1966].)

[27] Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Hazardous substances list and handbook. Rapport no ARB-TDA-33-76, Hazardous Substances Program, Air Resources Branch (1976).

[28] Ebel, H. et Gunther, T. Magnesium metabolism: a review. J. Clin.Chem. Clin. Biochem., 18: 257 (1980).

[29] Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. Apports nutritionnels recommandés pour les Canadiens. Ottawa (1983).

[30] National Academy of Sciences. Drinking water and health. Part 1. Ch. 1-5. A report of the Safe Drinking Water Committee Advisory Center on Toxicology Assembly of Life Sciences. U.S. National Research Council, Washington, DC. p. V66 (1977)

[31] Conseil national de recherche du Canada. Les effets des halogénures alcalins dans l'environnement canadien. CNRC nº 15019, Comité associé des critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Ottawa (1977).
[32] National Academy of Sciences. Nutrient and toxic substances in water for livestock and poultry. National Academy Press, Washington, DC (1974).

[33] Murray, D.M. et Ennst, V.F.W. An economic analysis of the environmental impact of highway de-icing salts. National Technical Information Service Publication 253, U.S. Department of Commerce, Springfield, VA. p. 268 (1976).

[34] Pollock, J.J. et Toler, L.G. Effects of highway de-icing salts on groundwater and water supplies in Massachusetts. U.S. Geological Survey, Boston, MA (1972).

[35] Terry, R.C. Road salt, drinking water and safety. Ballinger, Cambridge, MA (1974).

[36] Hutchinson, F.E. Effects of highway salting on the concentration of sodium chloride in private water supplies. Res. Life Sci., automne : 15 (1969).

[37] Ralston, J.G. De-icing salts as a source of water pollution. Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto (1971).

[38] Little, A.D. Inorganic chemical pollution of freshwater. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1971).

[39] Pettyjohn, W.A. Water pollution by oil-field brines and related industrial wastes in Ohio. Ohio J. Sci., 71 : 257 (1971).

[40] Pettyjohn, W.A. Water quality in a stressed environment. Burgess Publishing Co., MN (1972).

[41] Bond, R.G. et Straub, C.P. Handbook of environmental control. Vol. 3. Chemical Rubber Co., Cleveland, OH (1973).

[42] Schneider, W.J. Hydrologic implications of solid-waste disposal. U.S. Geol. Surv. Circ., 601-F : F1 (1970).

[43] Kurtz, T.W. et Morris, R.C., Jr. Dietary chloride as a determinant of "sodium-dependent" hypertension. Science, 222 : 1139 (1983).

[44] Whitescarves, S.A., Ott, C.E. et Jackson, B.A. Salt-sensitive hypertension: contribution of chloride. Science, 223 : 1430 (1984).

[45] Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. Apport recommandé d'éléments nutritifs pour les Canadiens, Ottawa (1983).

[46] Greenwood, N.N. et Earnshaw, A. Chemistry of the elements. Pergamon Press, Oxford, UK (1984).

[47] Peck, H. D., Jr. Sulphur requirements and metabolism of micro-organisms. Dans : Proceedings of a Symposium on Sulphur in Nutrition. D. H. Muth et J. E. Oldfield (dir. de publ.). Ari Publishing Co., Westport, CT (1970).

[48] Smith, R.L. Ecology and field biology. 2e édition. Harper & Row, New York, NY (1974).
[49] Arthur D. Little, Inc. Water quality criteria data book. Vol. 2. Inorganic chemical pollution of freshwater. Water Pollut. Control Res. Ser. No. DPV 18010, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1971).

[50] Fall, C. "Etude de la qualité de l'eau de robinet et de celle de la nappe phréatique dans les différentes Communes d'Arrondissement du département de Guédiawaye, Dakar." Sénégal., (2008).

[51] Santé Canada (2013). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique — Le nitrate et le nitrite. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). (Numéro de catalogue H144-13/2-2013F-PDF).

[52] World Health Organization (1996) Guidelines for Drinking Water Quality. 2nd Edition, Vol. 2, Geneva.

[53] Wilaya de Laghouat : répartition de la population résidente des ménages ordinaires et collectifs, selon la commune de résidence et la dispersion" (PDF), Données du recensement général de la population et de l'habitat de 2008 sur le site de l'Offic

[54] Stamboul M, 2005 Contribution à l'étude hydrogéologique de l'Atlas Saharien, l'exemple du Djebel Amour, thèse de doctorat, Univ Oran.

[55] National Academy of Sciences. Drinking water and health. Part 1. Ch. 1-5. A report of the Safe Drinking Water Committee Advisory Center on Toxicology Assembly of Life Sciences. U.S. National Research Council, Washington, DC. p. V66 (1977).

[56] Faust, S.D. et Osman, A. Chemistry of water treatment. Butterworth Publishers, Woburn, MA (1983).

[57] Larson, T.E. Corrosion phenomena -- causes and cures. Dans : Water quality and treatment. A handbook of public water supplies. 3e édition. McGraw-Hill Publishing Co., New York, NY (1971).

[58] Conseil national de recherches du Canada. Hydrogen sulfide in the atmospheric environment. Scientific criteria for assessing its effects on environmental quality. NRCC No.

18467, Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Ottawa. (1981).

[59] Hawthorn, J.E. Hydrogen sulfide damage to concrete pipe. J.Water Pollut. Control Fed., 42: 425 (1970).

Annexes

Normes Algériennes et de l'OMS de la potabilité de l'eau

Paramètres	**Unité**	**Normes Algériennes**	**Normes de l'OMS**
pH		6.5-8.5	
Calcium	mg/l		200
Sodium	mg/l		200
Potassium	mg/l		20
Magnésium	mg/l		150
Chlorure	mg/l	500	
Sulfates	mg/l	400	
Nitrate	mg/l	50	
Bicarbonate	mg/l		350
Conductivité électrique	µs/cm	2800	