

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques



Filière : Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Aménagement
Hydro-agricole

Thème :

**Évaluation et qualité des eaux souterraines de la nappe
alluviale des sables, graviers et galets de l'Oued Saf-Saf,
selon le trajet El-Harrouch-Skikda.**

Présenté par :

- MEDJROUD Khaoula
- MEDROUA Nada
- MEZGACHE Narimane
- MEZGHACHE Randa

Membres de Jury:

Mr : SADOUNE Abdelaziz	(MAA)	Président	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mme : MELLAL Nour El-Houda	(MAA)	Examinatrice	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mr : KHELFAOUI Hakim	(MCA)	Promoteur	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2021-2022

Résumé

L'Oued Saf-Saf est l'un des trois principaux Oueds de la Wilaya de Skikda, il draine une surface de 1158 km², il est soumis à de nombreux rejets y compris les apports d'Oued Marhoum et Zeramna qui tous deux acheminent des polluants dans leurs effluents. Le système aquifère de la vallée de l'Oued Saf-Saf constitué par la nappe libre du sable et gravier et galet captée par dizaines de puits et forages destinés à l'alimentation en eau potable. Dans le but de prévoir l'impact des effluent anthropiques, industriel et agricole sur les eaux souterraines de ce système vient cette étude de suivi la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines selon le trajet d'El-Harrouch jusqu'à Hamadi Krouma (Skikda) a été effectué. Notre étude de suivi montre que ces eaux sont relativement de mauvaise qualité du point de vue de leur portabilité dans tous les communes du secteur étudié (El-Harrouch, Ramdhane Djamel, Salah Bouchaour, Hamadi Krouma) en ce qui concerne sa richesse en matière organique, ammonium, de calcium et magnésium et donc de dureté et la présence des germes pathogènes dangereux dues à la pollution d'origine urbaine et agricole.

Mots clés : *Oued Saf-Saf, Eaux souterraines, Rejets, Puits, Norme.*

Abstract

Oued Saf-Saf is one of the three main wadis of the Wilaya of Skikda, it drains an area of 1158 Km². It is subject to numerous discharges including the contributions of Oued Marhoume and Oued Zramna which both convey pollutions in their effluents. The aquifer system of the Oued Saf-Saf valley consists of the free aquifer of sand and gravel and pebbles captured by dozens of wells and boreholes intended for drinking water supplies in order to predict the impact of anthropogenic effluent, industrial and agricultural on the underground waters of this system. A follow up of the physico-chemical and bacteriological quality of the underground waters along the route from El-Harrouch to Hamadi Krouma (Skikda) was carried out. Our monitoring study shows that these waters are relatively of poor quality from the point of view of their potability in all the communes of the sector studied (El Harrouch, Salah Bouchaour, Ramdhan Djamel, Hamadi Krouma) with regard to its richness in: Organic Matter, Ammonium, Calcium and Magnesium and therefore hardness and the presence of dangerous pathogenic germs due to pollution of urban and agricultural origin.

Keywords: Oued Saf-Saf, Groundwater, Discharges, Wells, Norm.

ملخص

وادي الصفصاف هو أحد الأودية الثلاثة الرئيسية في ولاية سكيكدة. تبلغ مساحة حوضه 1158 كم مربع. يصب فيه كل من وادي الزمامة و وادي مرحوم اللذان يعتبران مصدران للملوثات. يتكون النظام الجوفي لوادي الصفصاف من طبقة مياه جوفية حرة من الرمل والحصى التي تم استغلالها من طرف مختلف الآبار المخصصة للتزويد بمياه الشرب. ومن أجل معرفة تأثير هذه الملوثات على المياه الجوفية قمنا بمتابعة النوعية الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية انطلاقاً من بلدية الحروش إلى غاية بلدية حمادي كرومة (سكيكدة). أظهرت نتائج الدراسة أن المياه الجوفية لكل المناطق (الحروش - صالح بوالشعور - رمضان جمال - حمادي كرومة) أنها ذات نوعية رديئة نسبياً لاحتوائها على مواد عضوية وقيم كبيرة من المغنيزيوم والامونيوم والكالسيوم ووجود جراثيم ممرضة خطيرة نتيجة للملوثات الحضرية والزراعية.

الكلمات المفتاحية: وادي صف صف ، مياه جوفية ، صرف ، آبار ، معيار

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous tenons à remercier dieu De nous a donné la santé, la force et la patience d'accomplir ce travail.

Nous tenons dans un premier temps remercier, notre directeur de mémoire Mr. **KHELFAOUI Hakim**, maître de conférence à l'université de Skikda, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Nous Adressons également un mot de remerciement au président de jury Mr. **SADOUNE Abdelaziz**, et notre examinatrice Mme. **MELLAL Nour El-Houda** pour l'honneur qu'il nous a fait d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail

Nos sincère remerciement et notre grande gratitude à chaque enseignant qui nous a donné ses connaissances depuis les premières étapes de notre étude jusqu' à ce moment en particulier Mme. **NATTOURE Souad**

Et enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, ainsi à tous les enseignants et personnel du département de Sciences Agronomiques, ce qu'ils trouveront ici l'expression de nos sincères reconnaissances.

DEDICACE

Je dédie ce travail:

A ma chère mère **SALIHA** et mon cher père **DJAMEL** qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chères sœurs **OUMAYMA** et **RAHMA** pour ses soutiens moral .

A mon fiancé **ABDELHADI**

A mes collègues **NARIMENE, NADA, KHAOULA**, pour sa patience tout au long de ce projet, Au nom de l'amitié qui nous réunit, et au nom de nos souvenirs inoubliables.

A toutes ma famille et mes amies.

A tous mes collègues de promotion de Master 2 en Aménagement Hydro-Agricole.

RANDA MEZGHACHE

DIDICACE

Je remercie en premier dieu le tout puissant de m'avoir accordé, la force et le courage de mener à terme ce travail elhamdulillah. J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

A mon papa **HOUICINE** et ma maman **ZABIDA**, à qui je dois tout et qui m'ont donné l'aide le courage et la foi pour accomplir ce travail. qu'ils trouvent ici toute ma considération

Ma sœur **ZINEB** et mes frère **SEIF EDDINE** et **TAKI EDDINE** qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de courage et de générosité.

Mon fiancé **OMAR**, qui m'a toujours entouré et motivé à sans cesse devenir meilleur

A mes amis pour leur infiniment aides toutes ces années d'étude : **NADA**, **RANDA** et **NARIMENE** pour leur aide.

A mes collègues du master Aménagement Hydro-Agricole et Tous mes professeurs pour leurs disponibilité et conseils

KHAOULA MEDJEROUD

DEDICACE

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à mon père **ABD EL RAHMANE**, que Dieu lui garde dans son vaste paradis.

A la source de mes jours, la source de mes efforts, ma vie et mon cœur maman **NOURA** pour son amour, et qu'elle m'a toujours accordé en témoignage de ma reconnaissance envers sa confiance, ses sacrifices et sa tendresse.

A ma sœur **RANDA** et mon frère **ISMAIL** pour l'amour qu'ils me réservent.

A mon soutien moral et source de joie et de bonheur, mon fiancée **RAMI** pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé.

A ma grande-mère **MECHA**, mes oncles et mes tantes que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, les amis que j'ai connu.

A mes collègues **NADA**, **RANDA**, **KHAOULA** pour leur patience et leur compréhension tout au long de ce projet.

A tous mes collègues de ma spécialité Aménagement Hydro-agricole.

A tous ceux qui me sont chers.

NARIMENE MEZGHACHE

DEDICACE

Je remercie en premier Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la force et le courage de mener à terme ce travail .je présente fièrement et joyeusement cet humble travail :

A qui les mots se taisent devant et devant sa trainée, la source de ma force et de ma motivation malgré son absence... mon père **ABBES**, que Dieu lui garde dans son vaste paradis.

A qui j'ai continué et par qui j'ai atteint ce que je suis maintenant... ma mère **SAKINA** que Dieu la soutienne avec moi dans tout ce qui est à venir.

A mon petite frère : **RAOUF** et mes sœurs: **NOUHA, WIEM, et HADJER**. Sans oublier toute ma famille du plus petit au plus grand, en particulier les cousines.

A mes quatinome : **NARIMENE, KHAOULA, RANDA** pour leur aide.

A mes amies de ma vie : **OUARDA** et **MERIEM**.

A toutes les professeures de la faculté des sciences agronomique et les collègues de Master 2 Aménagement Hydo-Agricole.

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

NADA MEDROUA

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Fig.1	Sous bassin versant de L'Oued Saf-Saf.....	3
Fig.2	Carte schématique d'extension des nappes dans la wilaya de Skikda.....	6
Fig.3	Carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf	9
Fig.4	Inventaire des points de prélèvement dans la zone d'étude	18
Fig.5	Point P1 d'El Harrouch.....	19
Fig.6	Point P2 de Salah Bouchaour.....	19
Fig.7	Point P3 de RamdhaneDjamel.....	19
Fig.8	Point P4 de HamadiKrouma.....	19
Fig.9	Glacière	19
Fig.10	Multimètre	20
Fig.11	Turbidimètre.....	21
Fig.12	Acide sulfurique H ₂ SO ₄	22
Fig.13	Chromate de potassium K ₂ CrO ₄	23
Fig.14	Solution tampon	24
Fig.15	Indicateur net.....	24
Fig.16	EDTA Na ₂	24
Fig.17	Spectrophotomètre	24
Fig.18	Réactif coloré.....	25
Fig.19	Acide ascorbique- réactif de mélange.....	26
Fig.20	Réactif coloré- Dichlorocyanurate.....	26
Fig.21	Solution stabilisante-chlorure de baryum	27
Fig.22	Flacon du dosage de la DBO ₅	29
Fig. 23	Réfrigérateur pour la DBO ₅	29
Fig.24	Les tubes de BCPL	30
Fig.25	Etuve	31
Fig.26	Réactif de Kovacs.....	31
Fig.27	Variation spatio-temporelle du pH.....	34
Fig.28	Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique	35
Fig.29	Variation spatio-temporelle de la turbidité	36
Fig.30	Variation spatio-temporelle de la température	36
Fig.31	Variation spatio-temporelle de l'alcalinité (TAC).....	37
Fig.32	Variation spatio-temporelle de la dureté totale (THt).....	38
Fig.33	Variation spatio-temporelle du chlorure	39
Fig.34	Variation spatio-temporelle du Calcium	40
Fig.35	Variation spatio-temporelle du magnésium	41
Fig.36	Variation spatio-temporelle de Phosphate	42
Fig.37	Variation spatio-temporelle de Sulfate	43
Fig.38	Variation spatio-temporelle d'ammonium.....	44
Fig.39	Variation spatio-temporelle de DBO ₅	45
Fig.40	Variation spatio-temporelle de Nitrite	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Ressources souterraines et ressources superficielle (ANRH ,2000)	7
Tableau 2	Normes Algériennes des eaux potables	33
Tableau 3	Les résultats des analyses bactériologique	47

LISTE DES ABREVIATIONS

AgNa	Nitrate d'argent
Km²	Kilomètre carré
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
K_c	Indice de compacité de Gravelus
mm	Millimètre
Km	Kilomètre
Mm³	Millimètre cube
Hm³/an	Hectomètre par an
mm/an	Millimètre par an
PNE	Programme National Exceptionnel
m	Mètre
SAU	Surface Agricole Utile
PDAU	Plan Directeur d'aménagement d'urbanisme
Ha	Héctare
pH	Potentiel Hydriquir
CE	Conductivité électrique
OD	Oxygène dissous
MES	Matière en suspension
RS	Résidu sec
cl⁻	Chlorure
THt	Dureté total
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
Ca²⁺	Calcium
Mg²⁺	Magnésium
NO₂⁻	Nitrite
NO₃⁻	Nitrate
SO₄²⁻	Sulfate
PO₄²⁻	Phosphate
DBO₅	Demande Biochimique en oxygène pendant 5 jours
E.coli	Esherichia Coli
µS/cm	Microsiemens par centimètre
C°	Celsius
NTU	Unité de la turbidité par la technique néphélométrique
ml	millilitre
Mg/l	Milligramme par litre
ADE	Algérienne Des Eaux
HCO₃⁻	Bicarbonate
CaCo³	Calcaire
H₂SO⁴	Acide sulfirique

SOMMAIRE

Résumé	I
ملخص	II
Abstract	III
Remerciement	IV
Dédicace	V
Liste des Figures	X
Liste des Tableaux	XI
Liste des Abréviations	XI
Introduction Générale.....	1

PARTIE I : Partie Bibliographique

1. Présentation de la zone d'étude.....	3
1.1. Situation géographique.....	3
1.2. Détermination du type du climat (Indice De Martonne).....	4
2. Les caractéristiques du bassin versant de l'Oued Saf-Saf.....	4
2.1. Les caractéristiques hydrologiques.....	4
2.1.1. La surface	4
2.1.2. La forme.....	4
2.2. Les caractéristiques hydrogéologiques.....	5
2.2.1. Les ressources d'eau souterraines et superficielles.....	7
2.3. Formation géologique pouvant être aquifères	7
2.3.1. Formation favorables au développement d'aquifère poreux.....	7
2.3.1.1. Formation du Quaternaires.....	7
2.3.1.2. Formation du tertiaire	8
3. Aspect socio-économique	9
3.1. Caractéristiques de la commune d'El-Harrouch	9
3.2. Caractéristiques de la commune de Salah Bouchaour.....	10
3.3. Caractéristique de la commune de Ramdhane Djamel.....	10
3.4. Caractéristique de la commune de HamadiKrouma	11
4. Les différentes sources de pollution des eaux	11
4.1. Pollution urbaine.....	11
4.2. Pollution agricole.....	11
4.3. Pollution industrielle	12
5. Les paramètres de la qualité des eaux	12
5.1. Qualité physique.....	12
5.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	12
5.1.2. La conductivité électrique (CE).....	12
5.1.3. Turbidité.....	12
5.1.4. La salinité.....	13
5.1.5. L'oxygène dissous (OD).....	13
5.1.6. Matière en suspension (MES).....	13
5.1.7. Résidu sec (RS).....	13
5.2. Qualité chimique	13
5.2.1. Chlorure (Cl ⁻).....	13
5.2.2. Dureté ou titre hydrométrique (THt)	14
5.2.3. Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC).....	14
5.2.4. Calcium (Ca ²⁺) et Magnésium (Mg ²⁺).....	14
5.2.5. Nitrates et Nitrites(NO ₃ ⁻ et NO ₂ ⁻).....	14
5.2.6. Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	14
5.2.7. Phosphate (PO ₄ ³⁻).....	15

5.2.8. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	15
5.3. Qualité bactériologique	15
5.3.1. Les Coliformes totaux.....	15
5.3.2. Les Coliformes fécaux	16
5.3.3. Les Streptocoque fécaux.....	16

PARTIE II : PRATIQUE

Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

1. Echantillonnage	17
2. Méthode d'analyses.....	20
2.1. Détermination de la Température	20
2.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH).....	20
2.3. Détermination de la Conductivité Electrique (CE)	20
2.4. Détermination de Turbidité	20
2.5. Détermination du TA et TAC.....	21
2.6. Détermination du Chlorure (Cl ⁻).....	22
2.7. Détermination de la dureté totale (THt)	23
2.8. Détermination du Nitrite (NO ₂ ⁻).....	24
2.9. Détermination du Phosphate (PO ₄ ³⁻).....	25
2.10. Détermination de l'Ammonium	26
2.11. Détermination des Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	27
2.12. Détermination de Calcium (Cl ²⁺).....	28
2.13. Dosage de la Demande Biochimique d'Oxygène (DBO ₅).....	28
2.14. Les analyses bactériologiques	29
2.14.1. Les Coliformes et E.coli	29
2.14.2. Expression des résultats des Coliformes fécaux	32
2.14.3. Recherche et dénombrement des Streptocoque fécaux	32

Chapitre 2 : Résultats et Discussions

1. Interprétation les résultats	33
1.1. Le pH.....	33
1.2. La conductivité électrique (CE).....	34
1.3. La turbidité.....	35
1.4. La température.....	36
1.5. Titre Alcalimétrique Complet (TAC).....	37
1.6. la Dureté Totale (THt).....	37
1.7. Chlorure (Cl ⁻).....	38
1.8. Le Calcium (Cl ²⁺).....	39
1.9. Le Magnésium (Mg ²⁺).....	40
1.10. Les Phosphate (PO ₄ ³⁻).....	41
1.11. Les Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	42
1.12. l'Ammonium (NH ₄ ⁺).....	43
1.13. La Demande Biochimique d'Oxygène (DBO ₅).....	44
1.14. Nitrite (NO ₂ ⁻).....	45
1.15. Les paramètres bactériologiques	46
Conclusion Générale	48
Références bibliographiques	51

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, elle est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, il est inégalement répartie par la nature sur la surface de la terre.

L'eau, denrée vitale sur la terre, est une ressource recyclable. Cependant elle doit être gérée et protégée en raison de sa vulnérabilité à la surexploitation et à la pollution (Osuolal et Okoh, 2017).

Des millions d'habitants dans le monde entier connaissent des pénuries en cette ressource vitale et luttent quotidiennement pour trouver de l'eau potable couvrant leurs besoins de base (Dani et *al.*). La pollution de l'eau dans les pays en voie de développement est souvent due aux activités anthropiques dues à une urbanisation incontrôlable avec l'absence souvent de traitements adaptés des eaux usées générées et leur rejet direct dans le milieu naturel (Youmbi et *al.* 2013).

Depuis la fin du siècle dernier se pose au niveau mondial, le problème de la rareté de l'eau douce (Aslouni et Souames, 2018).

L'Algérie compte 17 bassins-versants, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. La qualité de l'eau superficielle connaît une grande dégradation dans les bassins vitaux, et renferme généralement des plusieurs polluants comme les polluants microbiologiques qui sont le principale cause de maladies. Les dernières décennies(Kadi, 1997), l'eau dans notre pays est une ressource rare, fragile et inégalement répartie sur le territoire. La demande en eau est continuellement en augmentation et l'utilisation des eaux de surface s'avère une nécessité incontournable. Des pénuries d'eau conjoncturelles ou structurelles sont constatées. En plus des tensions liées à la ressource en eau, s'ajoutent la dégradation de l'écosystème et de la biodiversité causée par l'intervention anthropique amplifiée par les déficits hydriques (Dani et *al.*). La région de Skikda qui se trouve dans le nord-est algérien, a toujours connue des problèmes liés à la qualité des eaux de surface, Cette situation est le résultat de l'accroissement démographique, de l'extension du tissu industriel et du développement agricole. De ce fait et en dehors de toute politique de protection de l'environnement, la ressource en eau de surface se trouve exposée à des risque potentiels d'altération chroniques ou épisodiques (Belhadj, 2017).

La forte teneur en éléments toxiques provenant de différents rejets liquides ; industriels, urbaines et agricoles drainés largement par le chevelu hydrographique très dense de la

région, ainsi plus tard infiltrés vers les horizons aquifères libres et captifs du système hydrogéologique menace potentiellement la qualité des eaux souterraines largement ré pondues à travers la Wilaya de Skikda

L'Oued Saf-Saf est l'un des trois principaux Oueds de la wilaya de Skikda (ANRH, 2000). Il constitue son axe hydrographique central d'un débit moyen de 150 hm³/an (Khelfaoui et Derradji, 2010); sa partie aval est purement dominée par l'industrie pétrochimique polluante, ainsi qu'une pollution ménagère due aux rejets des agglomérations limitrophes (Cheriet et Baïbeche, 2017). L'Oued est alimenté en amont exclusivement par les apports hydriques du barrage de Zerdaza, sur ses deux rives se trouve la commune de Skikda à l'Ouest et la plateforme pétrochimique à l'Est (Ben Rabah, 2006).

Il est soumis à de nombreux rejets permanents y compris les apports d'Oued Marhoum et Oued Zeramna qui tous deux acheminent des polluants dans leur effluents.

Dans le but de prévoir l'éventuel l'impact des effluents anthropiques, industriels et agricole sur les eaux souterraines du système aquifère de la vallée de l'Oued Saf-Saf constitué par la nappe libre du sable et gravier captée par dizaines de puits et forages utilisés soit en alimentation en eau potable, alimentation du bétail et irrigation des parcelles agricoles vient cette étude de suivre la qualité physico-chimique et bactériologique de ces eaux souterraines, selon le trajet Sud –Nord depuis la commune d'El-Harrouche jusqu'à la commune de Skikda.

Ce travail a été divisé en deux parties fondamentales :

- Partie I : concerne la partie bibliographique et présentation de la zone d'étude ; on a montré quelques caractéristiques hydrologique hydrogéologique et morphologiques du bassin versant de l'Oued Saf-Saf , et l'aspect socio-économique de quatre communes de ce sous-bassin versant et les différents types des pollutions qui touchent les eaux superficielles et souterraines, ainsi que les paramètres physico-chimiques et microbiologiques qui influent sur la qualité des eaux avec impact sur la santé humaine et l'environnement.
- Partie II : Pratique ; divisée elle-même en :
 - Chapitre 1 : Matériels et méthodes : tout le matériel utilisé à la mesure des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux souterraines.
 - Chapitre 2 : Résultats et discussions

Enfin, notre étude est achevée par une conclusion générale.

Partie : I

**Présentation de la zone d'étude et
synthèse bibliographique**

1.2. Détermination du type du climat (Indice De Martonne)

Pour la détermination du type de climat De Martonne (1925) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles :

$$A = P / T + 10$$

Avec :

A : indice d'aridité annuelle

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T: températures moyennes annuelles en mm.

Selon De Martonne :

$A < 5$: le climat est hyper aride.

$5 < A < 10$: le climat est très sec.

$10 < A < 20$: le climat est sec.

$20 < A < 30$: le climat est tempéré.

$A > 30$: le climat est humide (écoulement abondant).

D'après l'étude climatologique réalisée par Baibeche et Cheriet (2017), pour notre région :

$$A = 778.15 / (18.95 + 10) = 26.87$$

Les résultats de l'indice d'aridité trouvés pour la station de la zone d'étude (Skikda) montrent que le climat est du type tempéré caractérisé par deux saisons l'une humide et froide et l'autre sèche et chaude

2. Les caractéristiques du bassin versant de l'Oued Saf-Saf

2.1. Les caractéristiques hydrologiques

2.1.1. La surface

Déterminer soit à l'aide d'outils informatiques (techniques de digitalisation), soit de manière approchées suivant un principe de quadrillage (superposition d'une grille dessinée sur papier transparent) ou par l'utilisation d'un planimètre, $S = 1158 \text{ km}^2$.

2.1.2. La forme

Elle est exprimée par l'indice de compacité de Gravellius, ce dernier est fonction de la surface du bassin et son périmètre (Khelfaoui, 2014).

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1.23$$

K_c : Indice de Compacité de Gravelus.

P : périmètre (km)

A : superficie (km²)

Pour le bassin versant du Saf-Saf, l'indice K_c a été estimé à 1,23 ; traduisant une forme allongée du bassin et c'est ce que les dimensions du rectangle équivalent confirment (52,82 et 21,92 km).

2.2. Les caractéristiques Hydrogéologique

Le bassin versant de l'Oued Saf-Saf est le plus important de toute la région de Skikdamarquée par une réserve régulatrice estimée à presque 125 Mm³ (ANRH, 2000).

Les différentes structures et unités géologiques existantes dans le sous bassin de Oued Saf-Saf d'étude définissent les cinq types de nappes suivantes (Ben Rabah, 2006)(Fig. 2).:

- La nappe des grès numidiens caractérisée par une alternance irrégulière de grès et d'argiles qui occupe les sommets à l'intérieur du bassin versant.
- Les nappes des flyschs mauritaniens caractérisées par des argiles, poudings, calcaire phtalique qui s'étendent de Ain Bouziane jusqu'au Sud-ouest d'El-Harrouch.
- La nappe des schistes composée de schistes, phyllades, gneiss et marbres elle occupe la limite Ouest du bassin et se poursuit plus au Sud de Staiha jusqu'au Nord-est (Dj. Gouhdi).
- La nappe des calcaires qui s'étend du Sud-Ouest jusqu'au Nord-Est du bassin.
- La nappe des alluvions : c'est l'aquifère majeur de toute cette partie, il longe l'Oued Saf-Saf et ses affluents. Il est composé d'un ensemble de formation perméable telle que graviers, sables et galets avec des passages de sable argileux

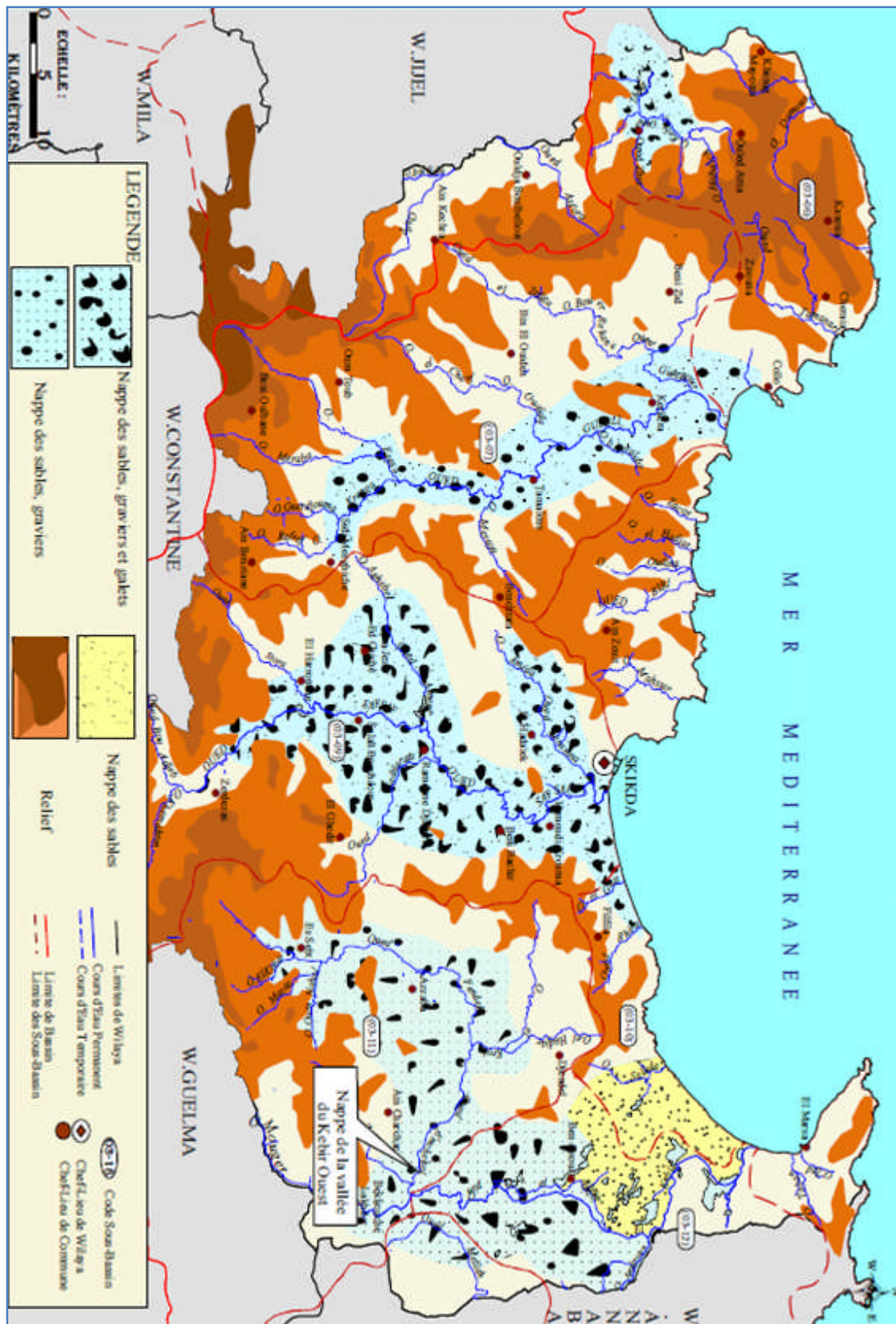


Fig. 2- Carte schématique d'extension des nappes dans la wilaya de Skikda.

2.2.1. Les ressources d'eau souterraines et superficielles

Tableau 1 -Ressources souterraines et ressources superficielles (ANRH, 2000).

Sous bassin versant de l' Oued Saf-Saf	Ressources souterraines	Ressources superficielles
Superficies (km ²)	1130	322
Potentialités des nappes (hm ³ /an)	3,9	/
Pluviométrie moyenne (mm/an) selon (P.N.E)	703.50	/
Ressources potentielles superficielles (hm ³ /an) selon (P.N.E)	50.87	/

2.3. Formations géologiques pouvant être aquifères

Selon leurs appartenances lithologiques, les formations géologiques sont définies par des caractéristiques hydrogéologiques différentes, leur participation à l'alimentation des nappes souterraines et leur capacité d'emmagasiner des eaux est en fonction de leur perméabilité et leur épaisseur.

A partir de la nature lithologique du bassin nous avons identifié deux types de formations (Khelfaoui, 2014).

2.3.1. Formations favorables au développement d'aquifères poreux

Ce sont des formations caractérisées par une perméabilité, comportant des vides interstitiels interconnectés, assimilables macroscopiquement à un milieu homogène et continu.

2.3.1.1. Formations du Quaternaires

a) **Alluvions** : on distingue trois types :

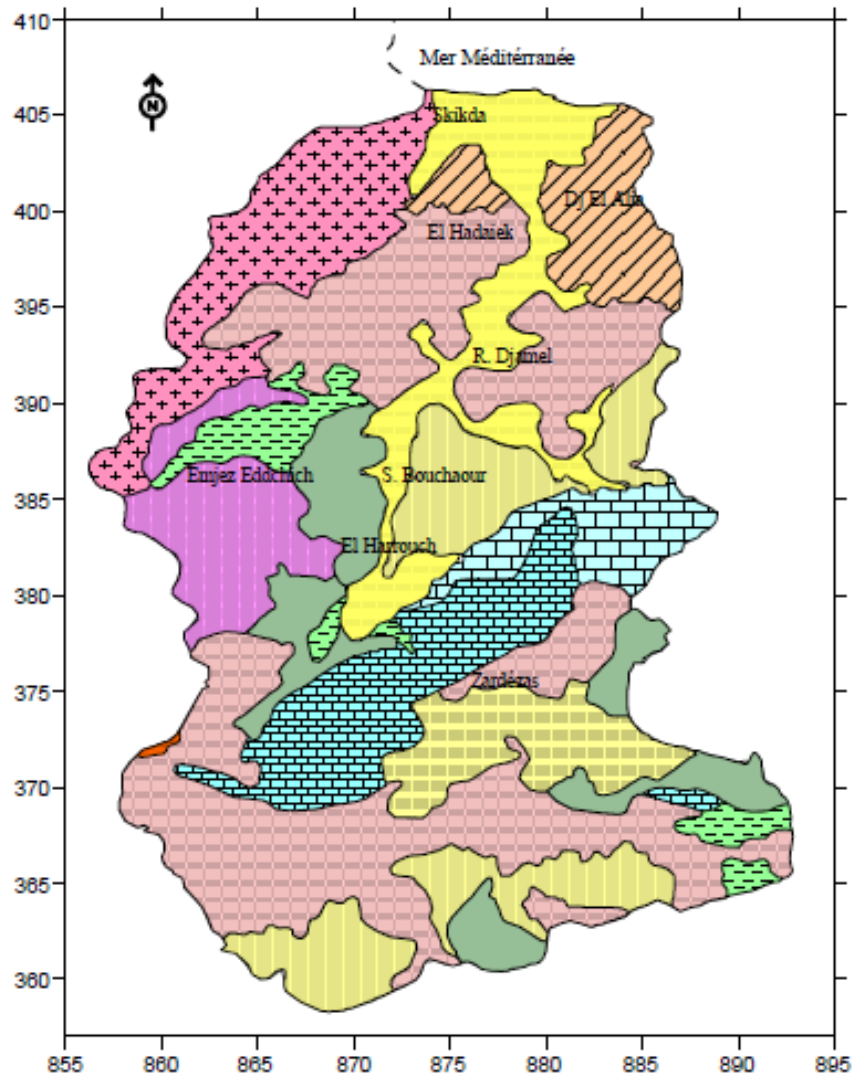
- Alluvions actuels: limons du lit majeur de Saf-Saf, de Zeramna et de la plaine marécageuse formée par le confluent de ces deux oueds, représentées par des sables, des limons du lit moyen et des sables des plages.
- Alluvions récentes : d'âge Néoplatonicien, se sont des limons et des cailloux roulés du fond des vallées.

- Alluvions ancienne : sont des terrasses de limons et de cailloux roulés qui drainent de 15 à 20 m le lit de l'Oued Saf-Saf et Zeramna, ainsi, des terrasses de limons et cailloux roulés qui drainent 30 à 50 m le talweg du Saf-Saf à El -Harrouch.

- b) **Dunes anciennes** : rencontrées au Nord-Est de la plaine de Skikda le long de la côte. Elles sont constituées de trois niveaux ; niveau inférieur atteint une altitude de 40 à 50 m, découpé par les alluvions récentes du Saf-Saf, niveau moyen s'élève jusqu'à 80 m il est découpé par les alluvions anciennes ; et niveau supérieur développé sur les schistes paléozoïques, ceci est observé en plein forêt de Djebel El Alia dans la partie Nord-Est.

2.3.1.2. Formations du Tertiaire

- a) **Sables argileux** : rencontrés au Nord de Salah Bouchaour et à l'Est de EmjezEddChich, représente le terme supérieur la série Nummulitique de la région, avec des sables argileux jaunes ou gris.
- b) **Grés Numidiens** : ce sont des grés jaunâtres à grains fins, ils sont présents à divers niveaux des minces lits argileux sableux, ce faciès gréseux prédomine au Djebel Tfifra, à Ramdhane Djamel à l'Est du bassin vers Kef Serrak.
- c) **Grés et poudings** : les poudings sont formés de cailloux roulés de mica schistes, de gneiss et surtout de quartzifilons ou s'intercalent les assises gréseuses ou argileuses, la puissance de l'ensemble varie de 10 à 50 m et il est bien développé au niveau de Dj Soubouyou, à machtat Sidi Amar au Nord-Ouest de l'Oued Aneur au Sud d'El Hadaïek.
- d) **Grés quartzeux** : développés au niveau de Djebel Sensnou au Sud et au Sud Ouest du barrage de Zardézas.
- e) **Argiles et grés** : ce faciès prédomine au niveau du barrage de Zardézas.
- f) **Grés et conglomérats** : existent à Koudiat El Fedjel à l'Est d'El Harrouch, Ce sont des grés jaunâtres et rougeâtres, souvent micacés intercalés de lits argileux et à la base des bancs de poudings.

**Légende :****Substrat Résistant à l'érosion**

Calcaire et Dolomie dur Permo-Trias au mummilitique

Grés numidien Oligocène

Roches métamorphiques : Gneiss

Roches métamorphiques : Phyllade

Substrat Moyennement Résistant

Flyschs de Ziane et conglomérat Néocomien à mummilitique

Schiste série ou mummilitique

Calcaire friable Jurassique au Lutétien supérieur

Flyschs Crétacé inférieur

Substrat Peu Résistant

Mame, série Telliennes ou ultra Telliennes

Argile sous numidienne

Formations Quaternaires : alluvions et sables

Travaux utilisés :

- J.F. Raoult (1974)

- J.P. Bouillin (1977)

- J.M. Vila (1980)

Echelle :

Fig. 3- Carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf (Khelfaoui, 2014).

3. Aspect socio-économique

3.1. Caractéristiques de la commune d'El-Harrouch

La commune est située à 30 km au Sud du chef-lieu de la wilaya de Skikda, à 132 m d'altitude, elle compte une population de 48 994 habitants en 2008, distribuée sur une surface de 101 km². Autres agglomérations de moindre importance dépendent administrativement de la collectivité territoriale :

Bir-Stal, Saïd Bousbaa et Toumièttas.

La répartition générale des terres de la commune se caractérise par :

- L'importance de la surface agricole utile (SAU) qui représente 62,62 % de la superficie totale.
- Une prédominance des céréales qui représentent 55,36 % de la superficie globale.
- Les forêts couvrent une superficie globale de 680ha dominées par le maquis et les broussailles (PDAU, 2011).

La commune d'El-Harrouch a une vocation agricole bien marquée, avec une grande production des céréales et légumes, d'où l'installation de plusieurs usines de l'industrie agroalimentaire.

3.2. Caractéristiques de la commune Salah Bouchaour

La commune est située à 25 km au Sud du chef-lieu de la wilaya de Skikda. Elle est traversée par l'Oued Saf-Saf. Des collines parsemées d'oliviers entourent cette vallée. Des vergers d'orangers s'allongent le long de la rive. Avec une altitude de 122 m par rapport au niveau de la mer et une population de 29764 habitants (en 2008), la ville de Salah Bouchaour a une vocation agricole bien remarquable, avec importante production en légumes et fruits.

3.3. Caractéristiques de la commune de Ramdhane Djamel

La commune de Ramdhane Djamel est localisée à 17 km au Sud du chef-lieu de la wilaya de Skikda. Elle se situe au cœur de la vallée de l'Oued Saf-Saf qui la traverse du Sud au Nord.

Deux affluents s'y rejoignent, l'Oued Hadarataz et Oued Zerga. Elle est bordée à l'Est par le massif de Kef Serrak (530 m).

Elle comporte une population de 27194 habitants (en 2008), distribuée sur une superficie de 159 km². La ville est située à 48 m d'altitude par rapport au niveau de la mer.

3.4. Caractéristique de la commune Hamadi Krouma

La commune de Hamadi Krouma est située vers 4 km plus au Sud du chef-lieu de la wilaya de Skikda, avec une population de 30400 habitants. Alors que la commune de Skikda compte plus de 163000 habitants (2008). La commune de Hamadi Krouma a une superficie de 31 km² et une vocation très industrialisée, marquée par l'installation de plusieurs unités qui exercent des activités industrielles variées, dont la pétrochimie est bien dominante.

4. Les différentes sources de pollution des eaux

4.1. Pollution urbaine

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux de vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...).

Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées... Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants (Genin et al. 2003).

4.2. Pollution agricole

D'après certains techniciens, l'utilisation des fertilisants en agriculture dans la Wilaya de Skikda se fait de façon anarchique. Les quantités des fertilisants épandues, compte tenu de leurs conditions d'application, doivent être ajustées en fonction des besoins en azote et en phosphore des cultures et doivent être telles qu'elles ne conduisent pas à un accroissement notable de l'azote lessivable dont la teneur en élément doit être en fonction des besoins du sol. L'utilisation excessive des fertilisants peut entraîner l'augmentation des matières azotées, organiques et phosphatées. Les films plastiques utilisés pour les cultures industrielles sont mis à l'air libre dans les champs ou mis en décharge. Les autres déchets de production sont incinérés (Labar, 2009).

Les terres agricoles polluées dans notre aire d'étude sont distinguées en 3 catégories selon le degré de leur pollution

- Les terres de forte pollution : elles sont de 170 Ha, situées dans l'extrême Ouest de la zone industrielle traversée par Oued Saf-Saf (le plus pollué des cours d'eau).

- Les terres de moyenne pollution : elles sont de 360 Ha situés dans l'extrême Est de la zone industrielle. Elles sont polluées principalement par les polluants gazeux.
- Les terres de faible pollution : leur superficie est de 150 Ha situées plus loin que les deux catégories précédentes, elles sont polluées généralement par les déchets solides de la zone industrielle dû à leurs proximités de la décharge de déchets de la zone industrielle.

4.3. Pollution industrielle

Le complexe pétrochimique représente par ces effluents multiples une source de pollution principale de l'aquifère côtier. En outre, il génère une pollution atmosphérique à travers une torche où sont brûlés des gaz. La composition et la concentration de ces gaz restent inconnues vu que les moyens de prélèvement et de dosage sont absents. Nous ajoutons aussi le risque d'inondation qui peut aggraver la contamination du milieu au niveau de la zone industrielle par des dégâts multiples tel que l'exemple de la crue

5. Les paramètres de la qualité des eaux

5.1. Qualité physique

5.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH traduit l'acidité, l'alcalinité ou la neutralité d'une eau. Le pH a une influence majeure sur les formes physico-chimiques du métal et des composants métalliques dans l'environnement aquatique, du fait qu'il contrôle la solubilité et la concentration des métaux (Gendronneau, 2006).

5.1.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale, qui conduit peu.

5.1.3. Turbidité

La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organique, micro-organismes...), étant souvent lié à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines (nappes peu profondes).

5.1.4. La salinité

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative, certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique) (Aberkane, 2011).

5.1.5. L'oxygène dissous (OD)

C'est un constituant vital de tous les tissus vivants, végétaux et animaux. La présence de matière organique réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique (AFNOR, 2000). La concentration en oxygène est directement influencée par la température et la salinité ; une eau moins salée est plus froide dissout relativement plus d'oxygène (Sacchi&Testard, 1971).

5.1.6. Matière en suspension (MES)

Constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiments arrachés par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (notamment les algues) (Bouanani, 2005).

5.1.7. Résidu sec (RS)

C'est la mesure de la quantité de matières minérales dissoutes dans l'eau. Il donne une indication du degré de minéralisation de l'eau. Le résidu sec est obtenu après évaporation de l'eau à 180°C. Suivant le domaine d'origine de l'eau, cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 3000 mg/l. (Mekaoussi, 2014).

5.2. Qualité chimique

5.2.1. Chlorures (Cl)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux.

5.2.2. Dureté ou titre hydrométrique (TH)

La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium. Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage CaCO_3 (excès calcaire) du système de distribution et entraîne une consommation excessive de savon avec formation d'écume.

5.2.3. Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogencarbonates contenu dans l'eau. Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle encarbonate. Le TAC assure la détermination de la teneur en hydrogencarbonates.

5.2.4. Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+})

Le calcium et le magnésium sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux. L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, (Merabet, 2010).

5.2.5. Nitrates et Nitrites (NO_3^- et NO_2^-)

Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique et les nitrites de l'oxydation incomplète. Les principales sources de pollution sont l'utilisation des engrais, l'industrie chimique et alimentaire. La teneur en nitrates de l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une forte concentration en nitrites indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniac. Aucun traitement classique de l'eau ne modifie considérablement la teneur en nitrates. L'exposition à des fortes teneurs en nitrate augmente la concentration des nitrites salivaires. La réduction des nitrates en nitrites est optimale à $\text{pH} > 4,6$.

5.2.6. Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables, de 5 à 200 mg/l.

5.2.7. Les phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, polyphosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique...). Le contenu en phosphore total comprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates.

5.2.8. Demande biochimique en oxygène (DBO_5)

La demande biochimique en oxygène (DBO_5), représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries, pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau. Plus la DBO_5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée.

5.3. Qualité bactériologique

L'eau doit présenter également une potabilité du point de vue bactériologique, en effet celle-ci étant destinée à la consommation humaine, une eau potable doit satisfaire les conditions bactériologiques suivantes :

Ne pas contenir dans le cas d'une eau traitée des coliformes totaux et fécaux ni de clostridium sulfite-réducteur (Leyral et al. 2002). Certaines maladies infectieuses sont transmises à l'homme par absorption d'eau ou d'aliments pollués par une eau contenant des micro-organismes pathogènes. Les plus redoutables d'entre eux sont les salmonelles, responsables de la fièvre typhoïde et le vibron cholérique responsable du choléra (Leyral et al. 2002).

5.3.1. Les Coliformes totaux

Les coliformes sont des bâtonnets, anaérobie facultatif, gram négatif (-) non sporulant. Ils sont capable de croître en présence de sels biliaires et fermentent le lactose en produisant de l'acide et du gaz en 48 heures à des températures de 35°C à 37°C. Ils regroupent les genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia*, *Rahnella* et *Buttiauxella*. La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, est capital pour la vérification de

l'efficacité d'un traitement d'un désinfectant mais il est d'un intérêt nuancé pour détecter une contamination d'origine fécale.

5.3.2. Les Coliformes fécaux

Ce sont des bâtonnets Gram Négatif (-), aérobies et facultativement anaérobies ; nonsporulant, capables de fermenter le lactose avec production de l'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Ceux qui produisent de l'indole dans l'eau peptonée contenant du tryptophane à 44°C, sont souvent désignés sous le nom d'*Escherichia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différents (*Citobacter freundii*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, ...etc.). Les coliformes fécaux thermotolérants (44°C) sont considérés d'origine humaine. Ils répondent aux critères de bons indicateurs, la principale difficulté qui s'attache à leur emploi, est leur survie relativement courte en eau de mer, ce qui peut exiger un recours à des indicateurs supplémentaires. En voici quelques concentrations :

- les excréments humains 10⁹ / gramme de matière fécale ;

- eau usées non traitées 10⁶ à 10⁸ /100 ml. Lorsqu'on les trouve ; ils dénotent normalement une pollution fécale récente car ils ne se propagent pas dans le milieu marin. Il a été signalé des taux de disparition (T-90) correspondant à une réduction de 90% du nombre de CF d'une à trois heures qui dépendent de la salinité, de la température et des rayonnements solaires.

- les excréments humains 10⁹ / gramme de matière fécale ;

- eau usées non traitées 10⁶ à 10⁸ /100 ml. Lorsqu'on les trouve ; ils dénotent normalement une pollution fécale récente car ils ne se propagent pas dans le milieu marin. Il a été signalé des taux de disparition (T-90) correspondant à une réduction de 90% du nombre de CF d'une à trois heures qui dépendent de la salinité, de la température et des rayonnements solaires.

5.3.3. Les Streptocoques fécaux

Ces bactéries appartiennent à la famille de streptococcaceae, au genre *Streptococcus* et au groupe sérologique D de Lance Field. Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales, gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes se développent le mieux à 37°C et ils possèdent le caractère homoférmementaire avec production de l'acide lactique sans gaz.

Ils sont des témoins de contamination fécale assez résistants y compris dans les milieux salés. Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6, on peut par conséquent les utiliser comme indicateur d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé.



Partie : II

PARTIE PRATIQUE

Chapitre 1

Matériels et méthodes

1. Echantillonnage

Pour avoir une idée sur les valeurs et les teneurs des différents paramètres physicochimiques et bactériologiques dosés, un protocole expérimental et méthodes d'échantillonnages et d'analyses ont été élaborés sur terrain et au niveau du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de la Wilaya de Skikda, pour les eaux souterraines des points de prélèvement de la nappe du sable, gravier et galet du la vallée de l'Oued Saf-Saf.

Trois campagnes de prélèvement de 04 échantillons provenant de quatre (04) puits de mesure captant la nappe libre des sables, graviers et galets du lit de l'Oued Saf-Saf largement exploitée selon les dates suivante (Fig. 4) :

- 1^{ère} campagne effectuée le 13 /03/2022.
- 2^{ème} campagne effectuée le 11/04/2022.
- 3^{ème} campagne effectuée le 08/05/2022.

Les échantillons ont été prélevés depuis les Quatre points de mesures suivants :

- Le 1^{er} point (**P1**) ; se trouve en amont de l'Oued Saf-Saf, vers la limite sud à El-Harrouch (Fig. 5).
- Le deuxième point (**P2**) ; suivant le trajet de l'Oued Saf-Saf à la commune de Salah Bouchaour (Fig. 6).
- Le 3^{ème} point (**P3**) ;à la commune de Ramdane Djamel (Fig. 7).
- Le 4^{ème} point (**P4**) ; vers l'aval de l'Oued Saf-Saf à la commune de HamadiKrouma (Fig. 8).

Les échantillons en été prélevées dans des flacons en polyéthylènes rincé avec de l'eau distillé et l'eau à échantillonner, en suite remplis jusqu'à débordement sous l'eau et mis immédiatement dans une glacière (Fig. 9), transporter ensuite vers le laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Skikda.

Les analyses sont portées sur les éléments suivants :

La température, Le pH, La conductivité (CE), la turbidité, Le titre alcalimétrique simple (TA), Le titre alcalimétrique complet (TAC), Chlorure (Cl⁻), Nitrite (NO₂⁻), Ammonium (NH₄⁺), Le Calcium, Le Sulfate (SO₄²⁻), Le phosphate (PO₄³⁻), Le demande biologique en oxygène (DBO₅), *Escherichia Coli*, Coliforme totaux, Coliforme fécaux et Streptocoque.

Les résultats sont représentés sous forme d'histogrammes tracés par Excel.

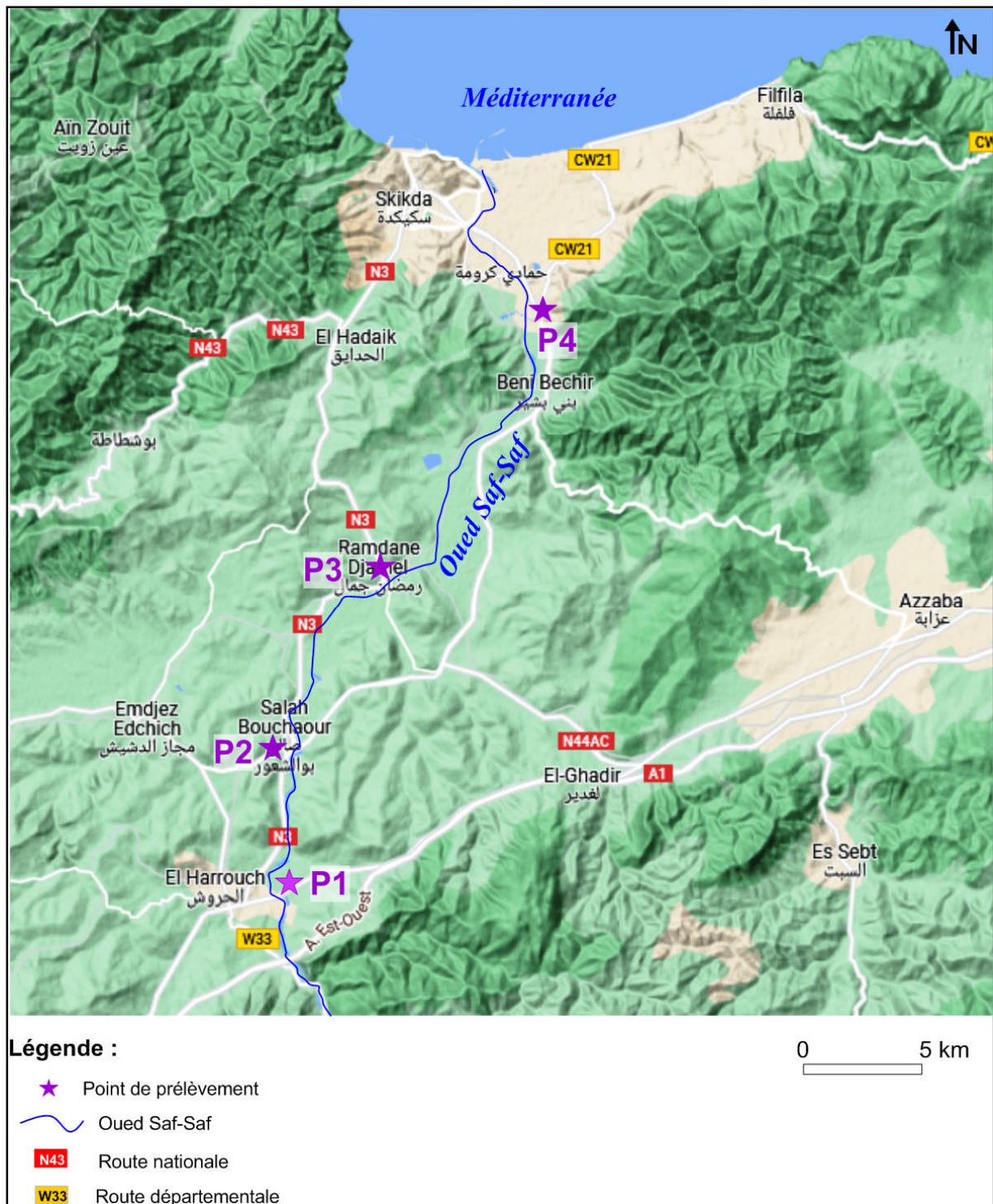


Fig. 4- inventaire des points de prélèvement dans la zone d'étude.



Fig. 5- Point P1 d'El-Harrouch.



Fig. 6- Point P2 de Salah Bouchaour.



Fig. 7- Point P3 de Ramdhan Djamel.



Fig. 8- Point P4 de Hamadi Krouma.



Fig. 9- Glacière.

2. Méthodes d'analyse

2.1. Détermination de la température

●**Principe** : la mesure de la température s'effectue à l'aide d'un multimètre (Fig. 10).



Fig. 10- Multimètre.

2.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

Effectuée à l'aide d'un multimètre (Fig. 10).

Mode opératoire : établir les connexions électriques nécessaire de pH mètre, on lave l'électrode avec l'eau distillée, et on verse l'échantillon d'eau dans le bêcher et puis y prolonger les électrodes et lire la valeur du PH indiquée sur l'écran de l'appareille

2.3. Détermination de la conductivité électrique (CE)

Mode opératoire : on suit les mêmes étapes que pour la mesure du pH.

Appareil : multimètre (Fig. 10).

2.4. Détermination de turbidité

Appareil : turbidimètre (Fig. 11).



Fig. 11- Turbidimètre.

Mode opératoire :

- allumer l'appareil de turbidimètre.
- Remplir les cuves en verre bien nettoyées et bien séchées de l'eau à analyser.
- mettre ces cuves en verre dans le turbidimètre.
- puis noter le résultat directement

2.5.Détermination du TA et TAC

Principe : c'est pour déterminer les bicarbonates HCO_3^-

Hydroxydes OH^- par le titrage

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

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

100 ml prise à essai

Réactif :

- phénolphtaléine ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)
- Méthylorange ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$)
- Acide sulfurique (H_2SO_4)



Fig. 12- Acide sulfurique H_2SO_4 .

• **Mode opératoire :**

100 ml d'eau à analysé

- 03 gouttes de phénolphtaléine ($C_{20}H_{14}O_4$)

S'il Ya un changement vers couleur rose pâle présence du TA

Si la couleur reste transparent TA = 0

- On ajoute sur la solution précédente 02 gouttes de Méthylorange.

- titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à virage du couleur orange brique

- Noter le volume V.

• Calcul :

$TA = V \cdot 10$ en mg/l , $TAC = (V_{TA} + V_{TAC}) \cdot 10$ en mg/l

(TA \leq 10 mg/l)

(TAC \leq 120 mg/l)

2.6.Détermination du chlorure (Cl^-)

Principe : méthode volumétrique, titrage des chlorures aux nitrates d'argent en présence de chlorure de potassium

Réactif :

-Chromate de potassium K (Fig. 13).

-Nitrate d'argent AgNa

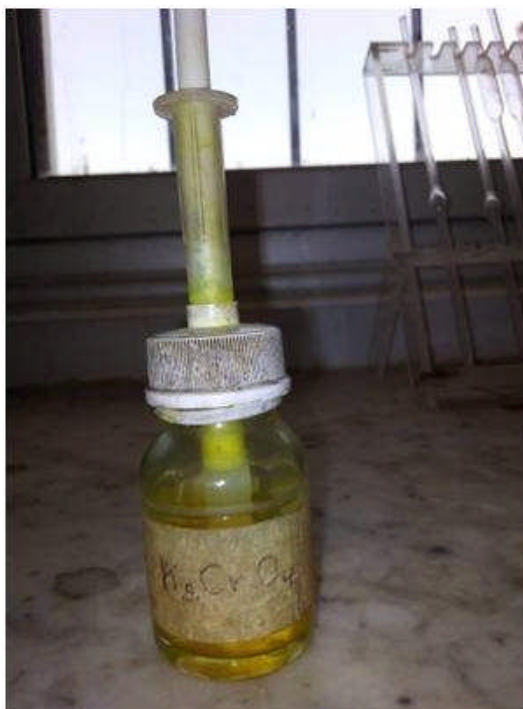


Fig. 13-Chromate de potassium.

Mode opératoire :

- 05 ml prise à essai
- 02 gouttes de chromate de potassium (K_2CrO_4)
- Titration avec nitrate d'argent ($AgNO_3$) jusqu'à virage du couleur rouge brique

Calcul :

$$Cl^- = V \cdot 71 \text{ en mg/lV : volume titré}$$
$$(cl \leq 500 \text{ mg/l})$$

2.7.Détermination de la dureté totale (THt)

C'est le titre hydrotimétrique

Réactif :

- Solution tampon k10 (pH de K= 10) (Fig. 14).
- Mordant noir 11 (indicateur net) (Fig. 15).
- L'EDTA $Na_2(C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 : 2H_2O)$ (Fig. 16).



Fig. 14- Solution tampon **Fig. 15-** Indicateur net **Fig. 16-** EDTA Na₂

Mode opératoire

- 50 ml prise à essai
- 04 ml de solution tampon k 10
- 03 gouttes de mordant noire (indicateur net
- titrage avec l'EDTA Na₂ qui est un sel disodique (acide éthylène diaminetetracétique) jusqu'a virage du couleur bleu

Calcul

$$\text{THT} = V \cdot 2 \cdot 10 \quad \text{en mg/L} \quad (\text{THT} \leq 500 \text{ mg/l})$$

2.8.Déterminations du nitrite NO₂⁻

Appareil : spectrophotomètre (Fig. 17).



Fig. 17- Spectrophotomètre.

Réactif :

-Réactif coloré (NO_2^-)



Fig. 18- Réactifs coloré.

Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser
- Ajouter 01 ml réactifs coloré
- Compléter avec de l'eau distillé jusqu'à 50 ml
- Temps de repos 20 min
- Longueur d'onde 540 nm

Calcul :

- Après 20 min, le couleur devient rose
- On met ces solutions des échantillons dans les petites cuvettes en ver de spectrophotométrie un par un.
- premièrement, on met le blanc pour régler à 0. Après on met les autres.
- on noter les résultats directement.

2.9.Détermination du phosphate (PO_4^{3-})

Appareil : par spectrophotomètre (Fig. 17).

Réactif :

- Acide ascorbique
- Réactif de mélange (Fig. 19).



Fig. 19-Acide Ascorbique-Réactif de mélange.

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analysé
- Ajouté 01 ml acide ascorbique
- Ajouté 02 ml de réactifs mélange
- Attendre 19 min (indique la coloration bleue)

2.10. Détermination de l'ammonium

- Appareil : Spectrophotomètre (Fig. 17).
- Réactifs : Réactifs colorées, Dichlorocyanurate (Fig. 20).



Fig. 20- Réactif colorée-Dichlorocyanurate.

Mode opératoire :

- 40 ml d'eau à analyser (échantillon)
- 04 ml Réactifs colorés
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 50 ml
- Temps de repos 60 min
- 02 ml eau distillée
- Longueur d'onde 655 nm

2.11. Détermination des sulfates (SO_4^{2-})

Appareil : spectrophotomètre (Fig. 17).

Mode opératoire :

- Prendre une PE de 100ml
- Ajouter ensuite 5 ml de réactif stabilisant.
- 0,3g chlorure de baryum (Fig. 21).
- Agiter pendant 01mn puis effectuer les mesures au spectrophotomètre.

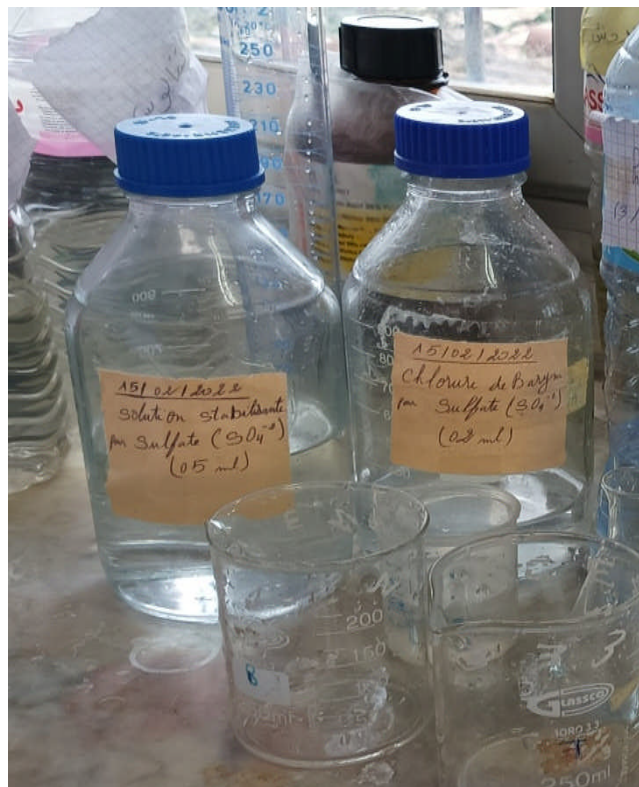


Fig. 21- Solution stabilisante-chlorure de baryum.

2.12. Détermination du calcium (Ca^{2+})

Principe : le titre hydrométrique calcique indique le teneur en sel de calcium

Réactif :

- Hydroxyde de sodium NaOH
- Murexide HSN indicateur
- EDTA Na_2
- disodique

Mode opératoire :

- 50 ml prise à essai
- 02 ml de solution hydroxyde de sodium NaOH
- Petite quantité de murexide HSN indicateur
- Titration avec l'EDTA $\text{Na}_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 ; 2\text{H}_2\text{O})$
- Disodique (acide éthylènediaminetitracétique) jusqu'à virage du couleur mauve foncé.

Calcul :- $\text{Ca}^{2+} = V \cdot 10$ en mg/l ($\text{Ca}^{2+} < 200$ mg/l, v : le volume titrer)

2.13. Dosage de la demande biochimique d'oxygène (DBO_5)

Appareillage :

- Incubateur réglable à 20°C
- Oxymètre
- Equipement pour l'aération
- Réfrigérateur de 0 à 4°C (Fig.22)
- Agitateur
- Balance analytique

Matériel :

Fioles jaugées : de capacité 100ml

Pipettes jaugées : de capacité 2ml, 5ml, 10ml.

Fioles spéciales DBO_5 de 250ml

Barreaux magnétiques



Fig. 22-Flacon du dosage de la DBO_5 .



Fig. 23- Réfrigérateur pour la DBO_5 .

Mode opératoire :

- Laissez l'échantillon jusqu'à ce qu'il atteigne la température ambiante.
- Ajuster son pH entre 6 et 8 (dans le cas contraire le neutraliser avec le HCl ou le NaOH)
- Prélever 100 ml de l'échantillon à l'aide d'une pipette jaugée et les mettre dans une fiole de 100ml puis ajuster (dilution de 1/10)
- prélever respectivement de la fiole 7.15 et 30 ml de l'échantillon dilué et les mettre dans les fioles spéciales DBO_5
- Transvaser 350ml de l'eau dilution dans une éprouvette d'un litre agiter 20 secondes puis remplir respectivement les fioles des balances ainsi que les autres fioles contenant les différentes dilutions de l'échantillon (7, 15 et 30ml). Doser l'oxygène dissous dans ces dernières sous agitation. La valeur indiquée par l'oxymètre est DBO_5 .
- Mettre les fioles dans l'incubateur à 20°C pendant 5 jours puis mesurer la DBO_5 une deuxième fois cette valeur est la DBO_5 .

2.14. Les analyses bactériologiques

2.14.1. Les Coliformes et *E. Coli*

Mode opératoire :

1ère étape : Test présomptif de la présence ou l'absence des coliformes. On ensemence :

- 3 tubes de 10 ml de BCPL (Fig. 24) à double concentration munis d'une cloche de Durham avec 10 ml d'eau à analyser ;
- 3 tubes de 10 ml de BCPL à simple concentration munis d'une cloche de Durham avec 1 ml d'eau à analyser ;
- 3 tubes de 10 ml de BCPL à simple concentration munis d'une cloche de Durham avec 0,1 ml d'eau à analyser ;



Fig. 24- Les tube de BCPL.

→ On agite pour homogénéiser tout en vidant l'air dans la cloche et placer les tubes dans une étuve à 37 °C pendant 48 heures.

Après incubation, les tubes considérés comme positifs présentent un trouble dans toute la masse liquide, avec virage du violet au jaune et un dégagement de gaz dans la cloche. Expression des résultats des Coliformes totaux : le nombre des coliformes totaux par 100 ml est obtenu en comptant le nombre des tubes positifs en se référant à la table de MacCredy qui nous donne le nombre le plus probable (NPP).



Fig. 25- Etuve.

2ème étape : test confirmatif de la présence ou l'absence des colibacilles (E. Coli).

- On repique chaque tube de BPCL positif 2 à 3 gouttes par une anse bouclée ou une pipette pasteur dans un tube de bouillon Schubert muni d'une cloche de Durham
- On incube à 44 °C pendant 24 heures ;
- On considère comme positifs tous les tubes présentant à la fois ; Un trouble avec un dégagement gazeux ; Anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par E. Coli Après adjonction de 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs (Fig. 26).



Fig. 26- Réactif de Kovacs.

2.14.2. Expression des résultats des Coliformes fécaux

Le dénombrement d'*E. Coli* s'effectue de la même façon que celui des coliformes totaux sur la table de Mac Credy.

2.14.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Milieu de culture : Bouillon de Rothe à (D/C), Bouillon de Rothe à (S/C), Milieu de confirmation Eva Litsky

Mode opératoire :

1ère étape : Test présomptif. On ensemence

- 3 tubes de 10 ml bouillon de Rothe (D/C) avec 10 ml d'eau à analyser ;
- 3 tubes de 10 ml bouillon de Rothe (S/C) avec 1 ml d'eau à analyser ;
- 3 tubes de 10 ml de bouillon de Rothe (S/C) avec 0,1 ml d'eau à analyser ;
- On incube à 37 °C à 48 heures ;

Les tubes présentant un trouble microbien sont considérés comme positifs et sont soumis au test confirmatif

2ème étape : Test confirmatif

- On agite les tubes puis on prélève de chacun d'eux successivement quelques gouttes avec pipette pasteur pour les reporter dans des tubes de milieu Eva Litsky à l'éthyle violet d'acide de sodium ;
- On incube à 37 °C pendant 24 heures ;

L'apparition d'un trouble microbien confirme la présence d'un Streptocoque Fécale, parfois la culture s'agglomère au fond du tube en fixant le colorant et en formant une pastille violette de signification identique à celle du trouble.

Expression des résultats : les résultats de dénombrement sont exprimés comme ceux d'*E. Coli* en nombre de germes par 100 ml d'échantillon. En se référant à la table MacCredy.

Chapitre 2

Résultats et Discussions

1. Interprétation des résultats

Les résultats obtenus sont représentés sous formes d'histogrammes pour les résultats des analyses physicochimiques et tableau pour les analyses bactériologiques. Ensuite ils ont été comparés aux normes Algériennes de potabilité des eaux, décrites dans le journal officiel de la république Algérienne N°34 du 19 juin 2011 (Tableau 2).

Remarque : la norme de potabilité dans les histogrammes est tracée par la ligne rouge.

Tableau 2- Normes Algériennes des eaux potables.

Paramètre	Normes de l'eau potable
pH	6.5 < pH < 9
Conductivité électrique (CE)	2800 μ S/cm
Turbidité	< 5NTU
Calcium	200 mg/l
Dureté (THt)	200 mg/l de CaCO ₃
Phosphate (PO ₄ ³⁻)	1mg/l
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.5 mg/l
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	250mg/l
Chlorure (Cl ⁻)	500mg/l
DBO ₅	>3
Température	25 °C
TAC	/
Nitrite (NO ₂ ⁻)	0.2 mg/l
Escherichia Coli	0 dans 100 ml
Coliforme totaux	0 dans 100 ml
Coliforme fécaux	0 dans 100 ml
Streptocoque	0

1.1.Le pH

Les eaux souterraines de tous les échantillons des puits de la nappe du sable, gravier et galet de l'Oued Saf-Saf ont un pH acceptable qui ne dépasse pas les normes dans les quatre points pour les trois campagnes de prélèvement, sauf pour le point P1 d'El-Harrouch de la

1^{ère} campagne où il est légèrement acide avec un pH minimal de 6.21, le pH maximal est de 7.75 dans le même point de la 2^{ème} campagne (Fig. 26).

La variation temporelle montre que les eaux souterraines de la 1^{ère} campagne sont légèrement acides par rapport aux eaux de la 2^{ème} campagne, alors que celles de la 3^{ème} campagne sont neutres ou légèrement alcaline. Cela est due au phénomène de la dilution par les eaux pluviales durant cette dernière.

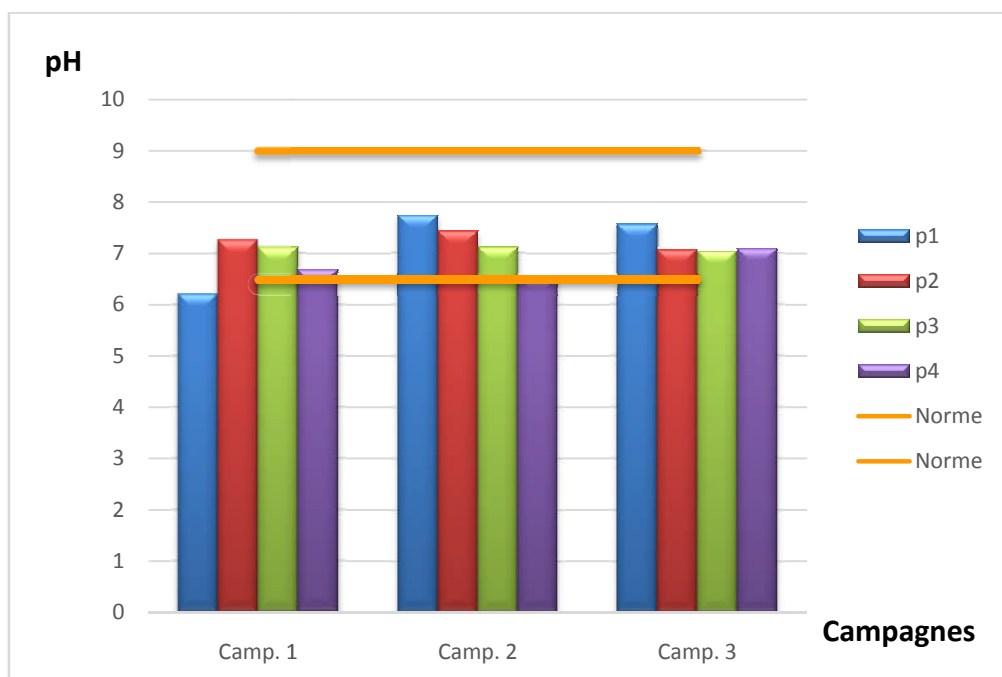


Fig. 27- Variation spatio-temporelle du pH.

1.2.La conductivité électrique (CE)

Les eaux souterraines de la zone d'étude sont de bonne qualité en ce qui concerne la conductivité électriques, sauf pour le puits P2 de Salah Bouchaourde la 2^{ème} campagne où elle dépasse la norme légèrement, la minéralisation des eaux de cet endroit est due un fort lessivage des formations géologiques du sable argileux du tertiaire en plus des alluvions du quaternaire, sans oublier l'effet des activités agricoles intensives de cette région, où l'utilisation des engrais est largement exercée et par conséquent l'infiltration et la dissolution de ces sels minéraux par les eaux pluviales vers la nappe libre du sable, gravier et galet augmente la teneur des sels dissout et donc la conductivité.

Les eaux souterraines les moins conductrices sont celles du puit P4 de HamadiKrouma de la 1^{ère} campagne avec 634 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alors que les eaux les plus conductrices sont celles du puit P2 de Salah Bouchaour de la 2^{ème} campagne avec 3090 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Généralement, la conductivité des eaux souterraines de cette nappe diminue en allant du Sud vers le Nord de la zone d'étude, ce qui est due à la présence des formations en intercalation avec lentilles argileuses riches en sel minéraux dans la partie Sud, en plus de leur vocation agricole bien marquée.

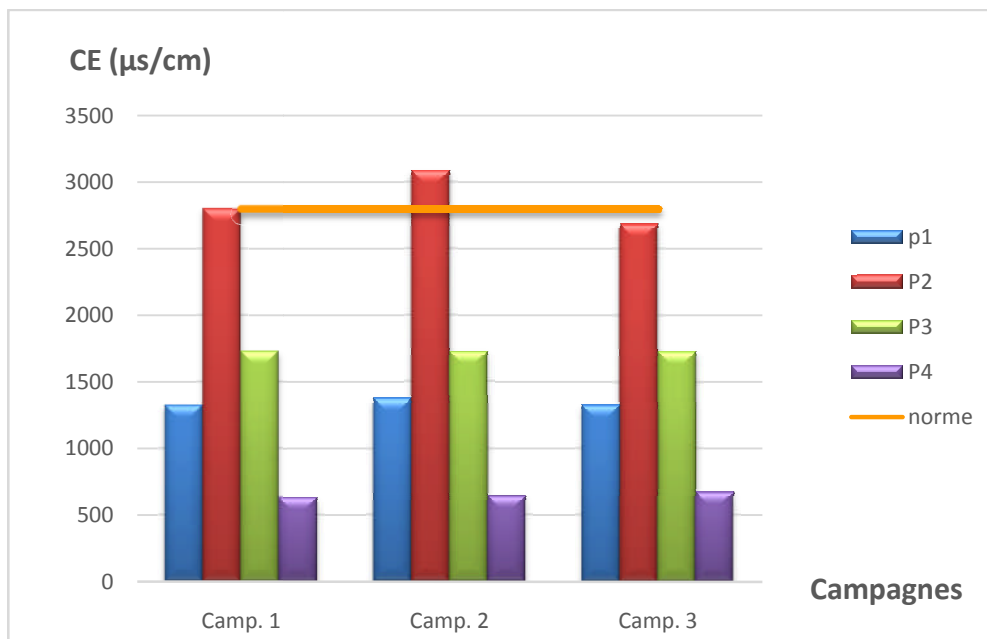


Fig. 28- Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique.

1.3.La turbidité

La turbidité des eaux de la nappe du sable, graviers et galet de la vallée de l'Oued Saf-Saf est très bonne, elle largement inférieure à la norme dans tous les quatre puits pour les trois campagnes. La teneur minimale est de 0.12 NTU dans le puits P3 (Ramdhane Djamel) de la 3^{ème} campagne, alors que la teneur maximale est de 0.77 NTU dans le puits P4 (HamadiKrouma) de la même campagne (Fig. 27).

On remarque une légère augmentation de la turbidité des eaux souterraines de la nappe du sable, gravier et galet depuis le Sud jusqu'au Nord, due à l'exploitation excessive de cette nappe par les habitants en alimentation en eau potable et du bétail ainsi qu'en irrigation par les agriculteurs de la région de Salah Bouchaour et Ramdhane Djamel et HamadiKrouma.

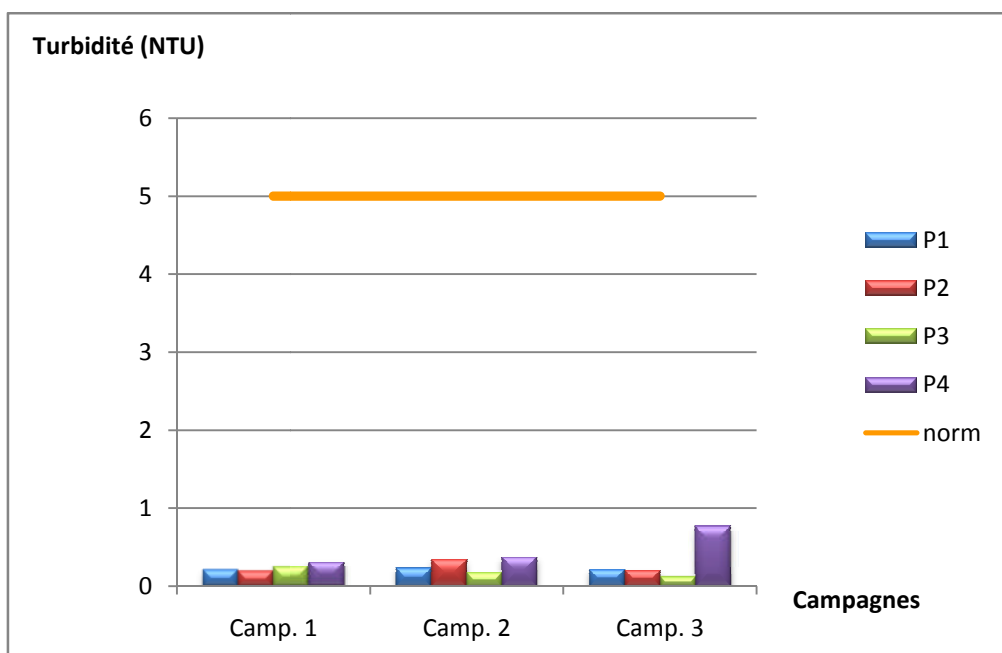


Fig. 29- Variation spatio-temporelle de la turbidité.

1.4.La température

La température des eaux souterraine de la zone d'étude sont dans les normes, elle est inférieure à 20°C dans tous les puits des trois campagnes, la température minimale est de 16.8°C du point P1 (El-Harrouch) de la 1^{ère} campagne, alors que la température maximale est dans le même point (P1) de la 2^{ème} campagne (Fig. 29).

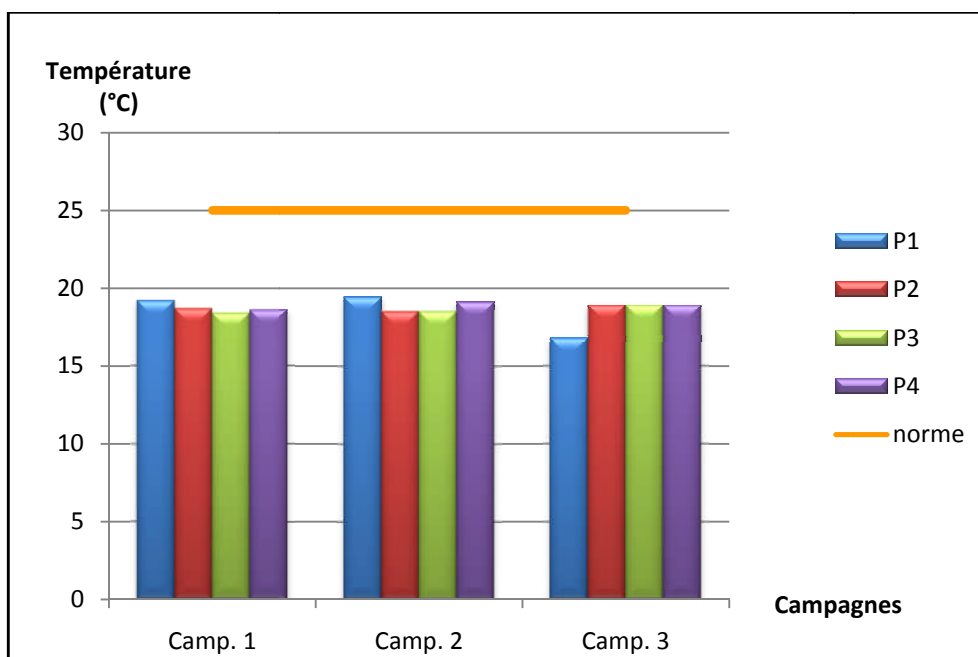


Fig. 30- Variation spatio-temporelle de la température

1.5. Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

La valeur du TAC permet de connaître les quantités d'hydroxydes et de carbonates (HCO_3^-), ou de bicarbonates alcalins ou alcalino-terreux dans l'eau.

Les eaux souterraines de la nappe du sable, gravier et galet sont riches en bicarbonates, surtout dans la partie Sud de la zone d'étude, la teneur minimale est dosée au niveau du puits P4 de HamadiKrouma avec 65 mg/l, alors que la teneur maximale est de 415 mg/l au niveau du puits P3 à Ramdhane Djamel de la 3^{ème} campagne. Les eaux souterraines d'El-Harrouch, Salah Bouchaour et RamdhaneDjamel contiennent des concentrations importantes à cause du lessivage des formations géologiques carbonatées largement répandues dans la partie Sud contrairement au point P4 de HamadiKrouma plus au Nord qui possède les teneurs les plus basses en vue de l'absence de ces formations carbonatées (Fig. 30).

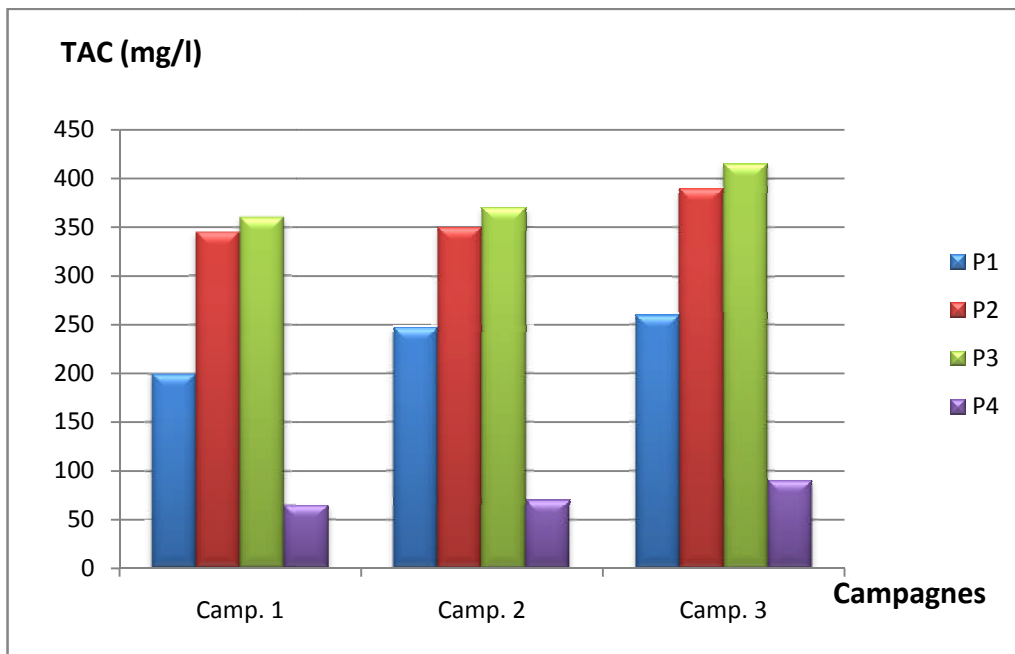


Fig. 31- Variation spatio-temporelle de l'alcalinité (TAC).

1.6. La dureté totale (THt)

Selon Rodier (2009), lorsque le taux de THt est supérieur à 300 mg/l, la nature des eaux étudiée est extrêmement dure, correspond à la présence de sels de calcium et, dans une moindre mesure, des sels de magnésium (strontium, et baryum).

Les variations de la dureté des eaux de la zone d'étude sont identiques que celles du TAC avec des concentrations dépassant largement la norme. Les eaux les plus dures sont celles de

la partie Sud P1, P2 et P3 (El-Harrouch, Salah Bouchaour et Ramdhane Djamel) avec des teneurs très élevées atteignant 800 mg/l de CaCO_3 au point P2 (Salah Bouchaour) de la 2^{ème} campagne à cause du lessivage des roches carbonatées de calcaire, dolomie et marne dans la partie Sud du sous bassin versant de l'Oued Saf-Saf contrairement du Nord (à HamadiKrouma) où les eaux sont moins dures avec une teneur minimale de 220 mg/l de CaCO_3 (Fig. 31).

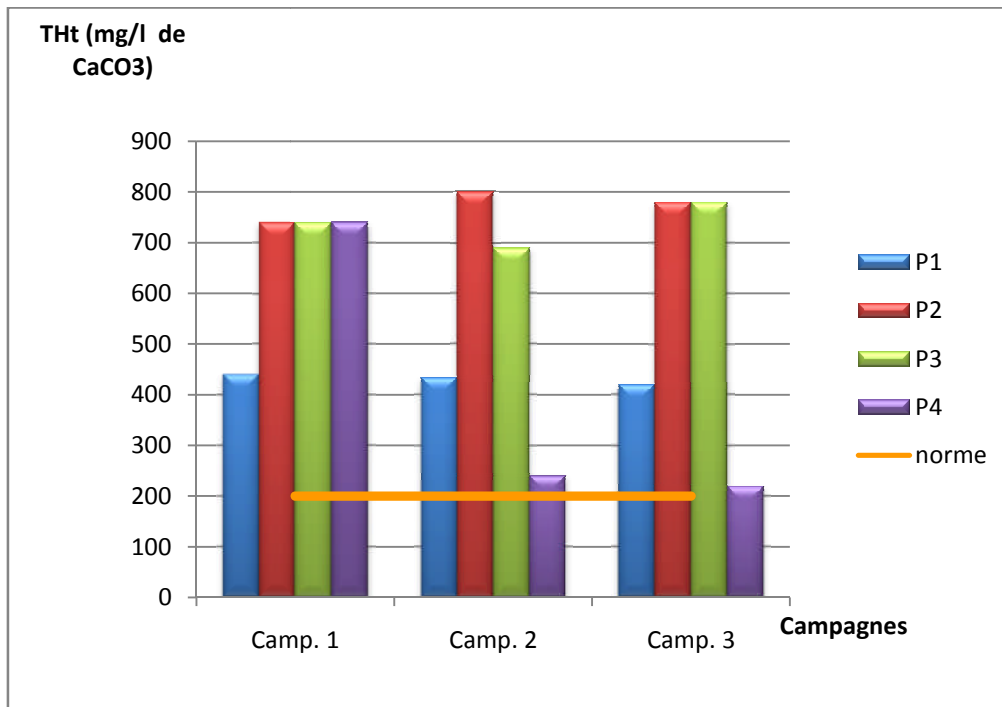


Fig. 32- Variation spatio-temporelle de la dureté totale (THt).

1.7. Les chlorures (Cl⁻)

La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium. Les eaux trop riches en chlorure sont laxatives et corrosives. La concentration des chlorures dans l'eau, dépend aussi de terrain traversé. Les chlorures donnent un goût désagréable et posant le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l.

Les eaux de la nappe du sable, gravier et galet du secteur étudié de la vallée de l'Oued Saf-Saf sont de bonne qualité en élément de chlorure, avec une teneur maximale de 291.1 mg/l dans le puits P2 (Salah Bouchaour) de la 2^{ème} campagne et minimale de 71 mg/l dans le puits P1 (El-Harrouch) de la 2^{ème} et la 3^{ème} campagne (Fig. 32).

Les eaux du puits de Salah Bouchaour sont les plus chlorurées, à cause de l'existence des formations argilo-sableuses du tertiaire dans l'horizon aquifère de la nappe libre du sable et gravier. Ainsi les eaux de la 1^{ère} campagne sont relativement plus concentrées en chlorures que celles de la 2^{ème} et la 3^{ème} campagne à cause du lessivage des couches argileuses riches en cet élément par les eaux pluviales de la saison hivernale.

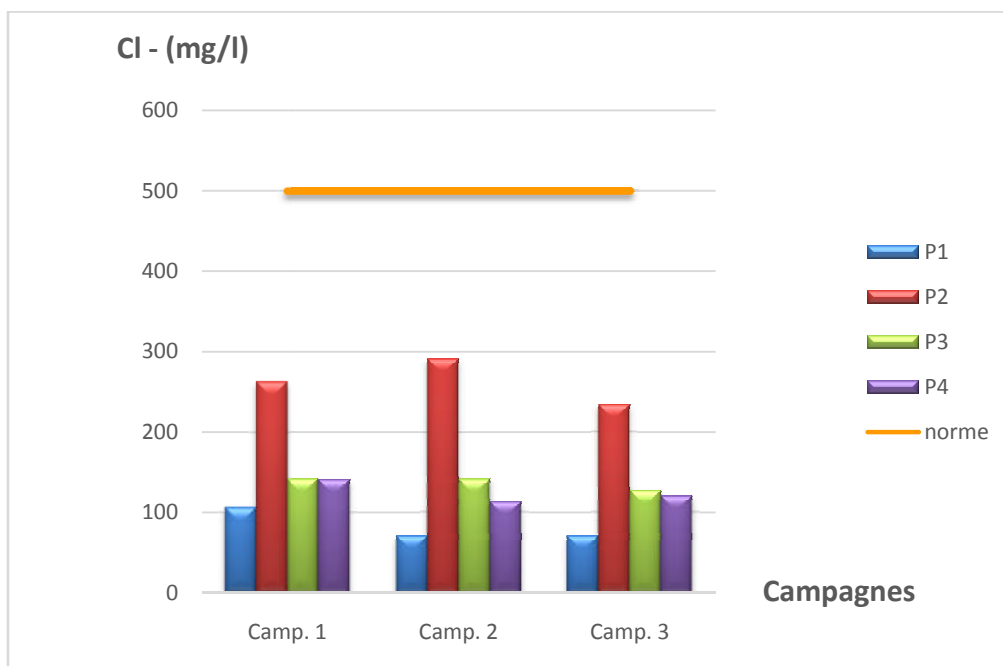


Fig. 33- Variation spatio-temporelle du chlorure.

1.8. Le calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un composant majeur de la dureté de l'eau il est généralement l'élément dominant des eaux potables, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (Rodier et al. 2009).

Seulement les eaux prélevées des puits de Salah Bouchaour et de Ramdane Djamel qui possèdent des teneurs qui dépassent la norme, avec une teneur maximale de 245 mg/l de la 3^{ème} campagne à cause du lessivage des formations carbonatées occupant la partie Sud de la Wilaya de Skikda (nappe tellienne et flysch). Ces concentrations diminuent en allant vers le Nord, au puits P4 de Hamadi Kroumaou la teneur ne dépasse guère les 40 mg/l, (Fig. 33).

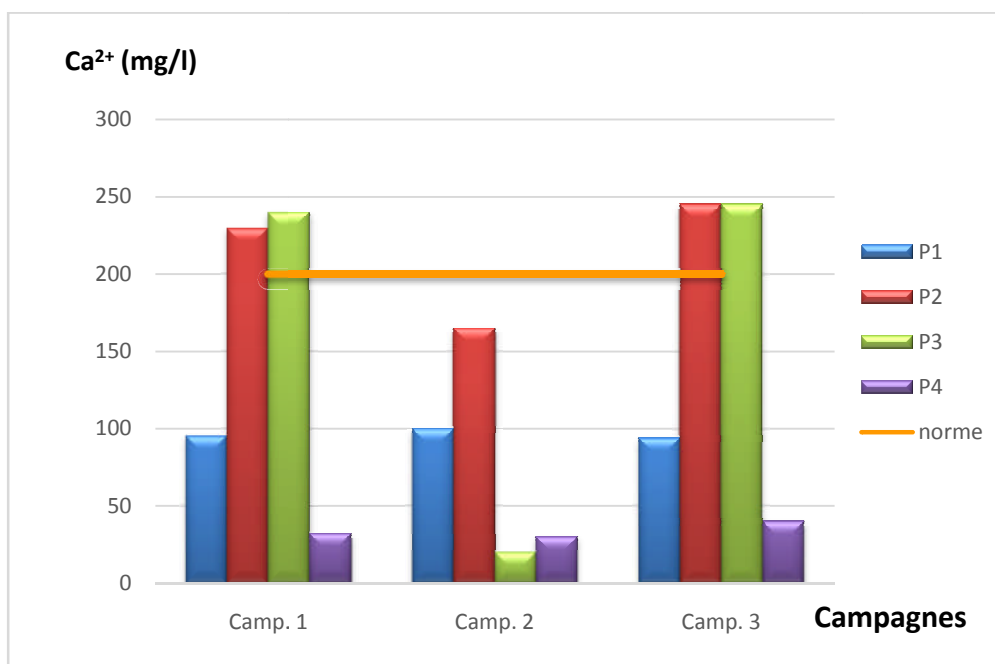


Fig.34- Variation spatio-temporelle du calcium.

1.9.Le magnésium(Mg^{2+})

Autre élément qui constitue la dureté de l'eau, il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre, la plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies, ...).

Les eaux souterraines prélevées de la nappe du sable, gravier et galet du secteur étudié dépassent largement la norme fixée à 50 mg/l dans les quatre puits des trois campagnes (Fig. 34), ce qui confirme leur forte dureté. Les eaux de la 1^{ère} campagne sont les plus concentrées, avec une teneur maximale de 708 mg/l au puits de HamadiKrouma, due au lessivage des roches carbonatées, alors que celles de la 3^{ème} campagne sont les moins concentrées avec une teneur minimale de 180 mg/l pour le même puits (Fig. 34),

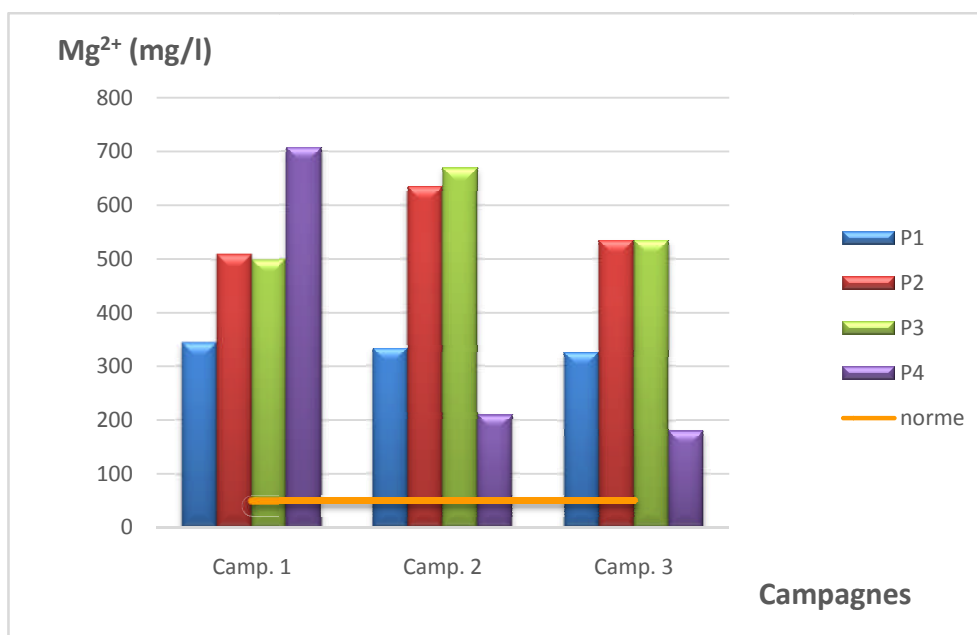


Fig. 35- Variation spatio-temporelle du magnésium.

1.10. Les phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphate est considéré à leur tour comme un des éléments nutritifs jouant un rôle essentiel dans les équilibres biologiques des eaux. Seulement, l'excès des phosphates et lorsqu'ils sont associés à l'azote des nitrates les poussent à devenir un facteur limite de l'eutrophisation.

En effet, à l'état soluble et assimilable, le phosphore sera relativement moins disponible que les autres éléments indispensables.

Tous les échantillons des eaux souterraines ne dépassent pas la norme fixée à 1 mg/l durant toutes les campagnes.

Les eaux de la 1^{ère} campagne sont les plus concentrées en phosphates par rapport aux autres campagnes, ce qui confirme l'impact des activités agricoles et donc l'utilisation des engrais largement exercée surtout dans la partie Sud de la zone d'étude (El-Harrouch et Salah Bouchaour) dissouts et infiltrés par les eaux pluviales durant cette période (Fig. 35).

La teneur minimale est dosée au niveau du puits P3 de Ramdhane Djamel avec 0.012 mg/l, alors que la maximale de 0.6 mg/l dosée au puits P2 (Salah Bouchaour) de la 2^{ème} campagne.

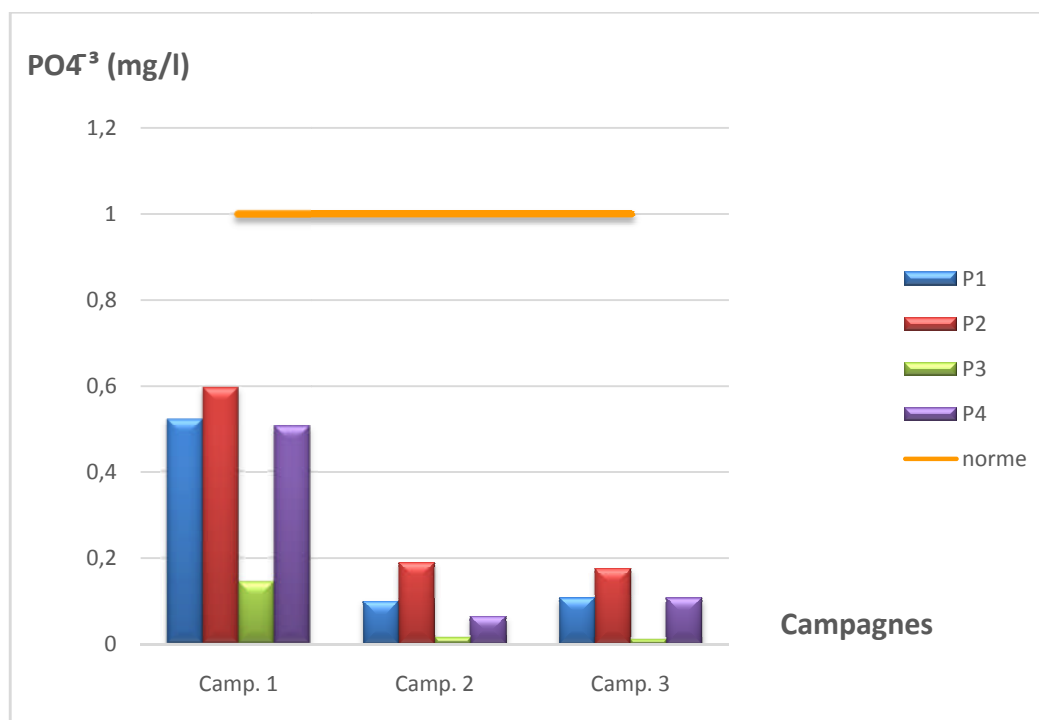


Fig. 36- Variation spatio-temporelle de phosphate.

1.11. Sulfate (SO_4^{2-})

La présence de sulfate dans l'eau est due à cause du lessivage des roches gypseuses et de l'oxydation de la pyrite (FeS) et des autres sulfures métalliques (fer, nickel, cuivre, ...), ainsi qu'à l'utilisation excessive des engrais sulfatés en agriculture.

Les eaux souterraines du secteur étudié ne dépassent pas la norme de potabilité des eaux, la teneur maximale est dosée au niveau du puits P2 (Salah Bouchaour) de la 3^{ème} campagne avec 208.55 mg/l, alors que la teneur minimale est de 6.76 mg/l du puits P4 (Hamadi Krouma) de la 2^{ème} campagne (Fig. 36).

Les eaux souterraines de la partie Sud (Salah Bouchaour et El-Harrouch) sont les plus concentrées en phosphate, ce qui confirme l'impact de l'utilisation des engrais dans ces communes à vocation agricole dominante (Fig. 36).

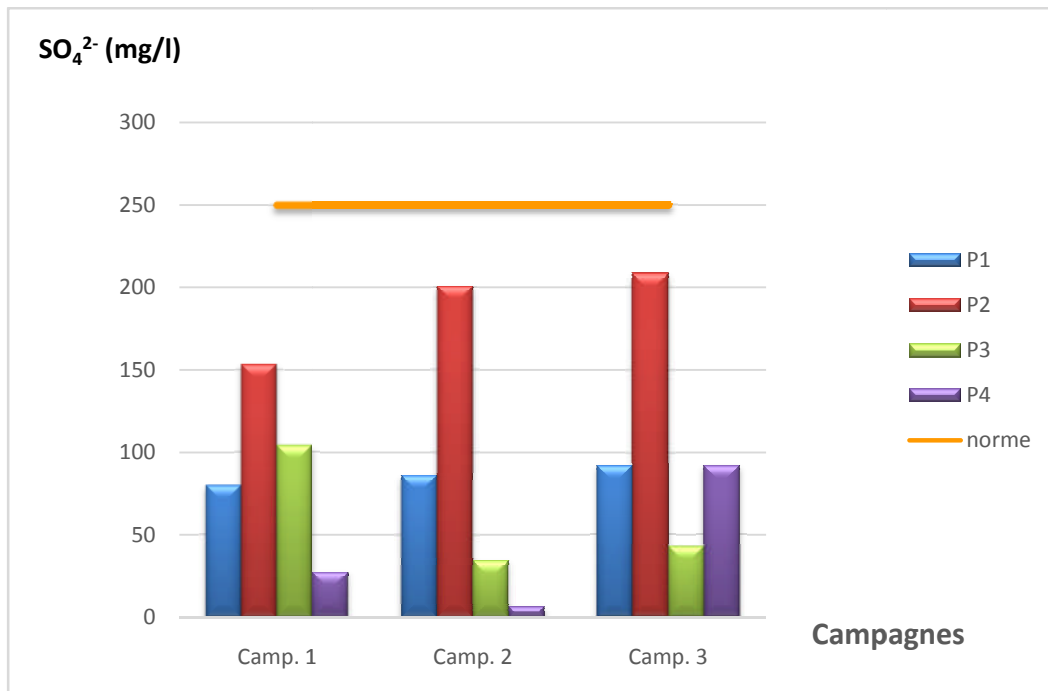


Fig. 37-Variation spatio-temporelle de sulfate.

1.12. L'ammonium (NH_4^+)

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel. L'ammonium est transformé en nitrite et en nitrate grâce à un processus de nitrification biologiquement conditionné.

Les souterraines de la zone d'étude de la nappe du sable, gravier et galet possèdent des teneurs acceptables en ammonium dans tous les puits sauf pour la 2^{ème} campagne pour les puits de la partie centrale P2 et P3 (Salah Bouchaour et Ramdhane Djamel) avec un teneur maximale de 0.65 mg/l, ce qui implique une légère contamination des ces eaux par le lessive et l'infiltration des eaux de lessivage des vastes parcelles agricoles traités par des engrais nitraté, ainsi qu'a la possibilité de contaminations par les eaux usées domestiques évacuées dans le cours d'eau de l'Oued Saf-Saf par les agglomérations à forte densité de population implantées aux alentours puisque ces puits de prélèvement se localisent à proximité de l'Oued où s'évacuent ces rejets (Fig. 37).

Les eaux souterraines de la 2^{ème} et de la 3^{ème} campagne sont les plus concentrées en ammonium, ce qui traduit le temps de lessivage pendant lequel les eaux de lessivage infiltrent et propagent dans l'aquifère du sable, gravier et galet (Fig. 37).

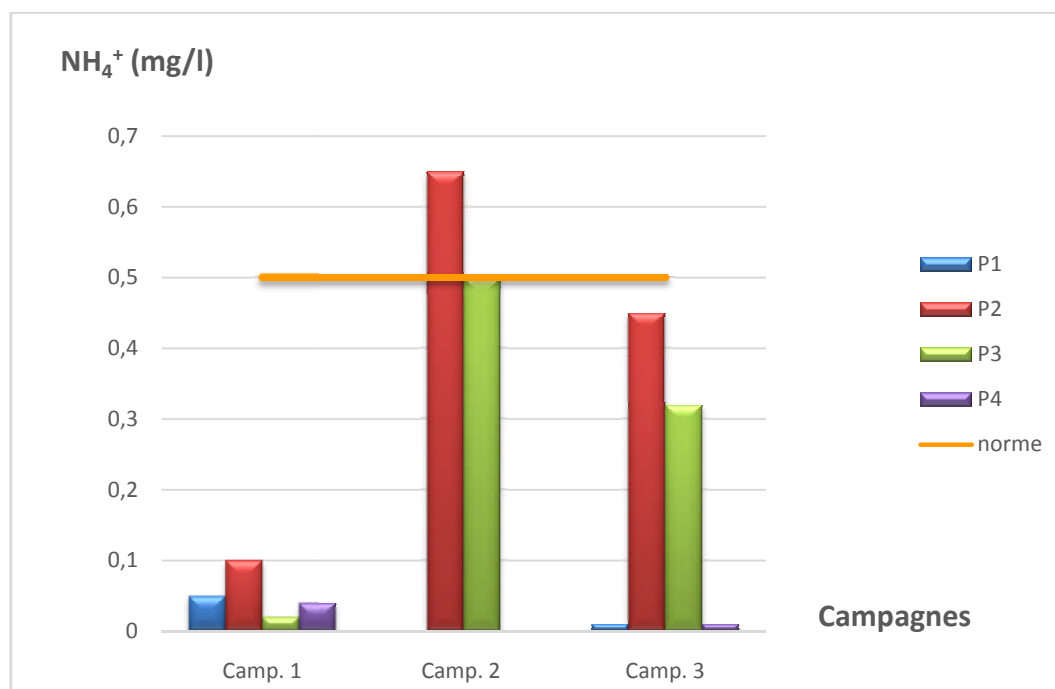


Fig. 38-Variationspatio-temporelle d'ammonium.

1.13. La demande biologique en oxygène (DBO5)

L'oxydation des composés organiques biodégradables par des micro-organismes entraîne une consommation d'oxygène, donc la mesure de cette DBO permet d'évaluer la qualité d'une eau ou son degré de pollution. La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue, d'autre part l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène (Khelfaoui, 2014).

Les eaux souterraines de la nappe du sable, gravier et galet du secteur étudié sont de mauvaise qualité en ce qui concerne sa richesse en matière organique et donc la possibilité de la présence de germes pathogènes dangereux pour la santé lors de l'utilisation de ses eaux en eau potable par les habitants de la région ; les eaux des puits P2, P3 et P4 (de Salah Bouchaour, Ramdhane Djamel et Hamadi Krouma respectivement) dépassent largement la norme avec une teneur maximale de 10 mg/l au puits P2 de la 3^{ème} campagne, à l'exception du puits P1 d'El-Harrouch où les teneurs sont relativement acceptables avec une concentration minimale de 1 mg/l durant la 2^{ème} campagne (Fig. 38).

L'impact des rejets liquides des eaux usées et le lessivage des terrains agricoles est bien individualisée, ainsi la vulnérabilité de la nappe est bien confirmée concernant sa richesse en matières organiques.

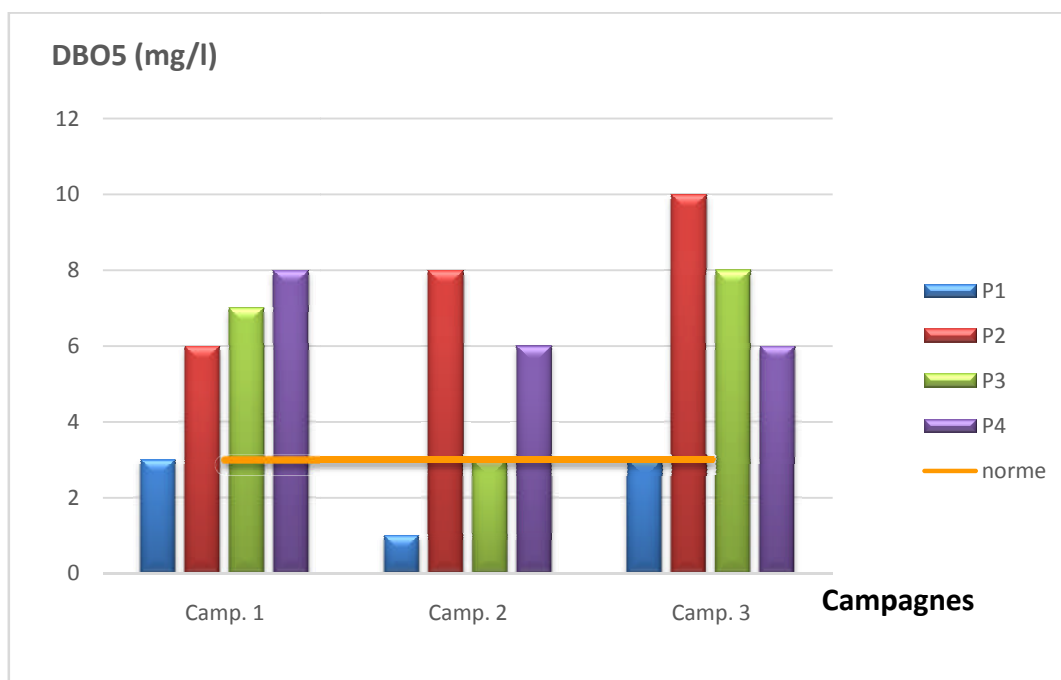


Fig. 39- Variation spatio-temporelle De DBO₅.

1.14. Nitrite (NO₂)

Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels, provient soit de l'oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction de nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante.

Une seule campagne a été effectuée, la teneur des eaux souterraines de la nappe étudiée est acceptable, elle ne dépasse pas la norme dans les quatre puits.

La teneur maximale est de 0.014 mg/l dans les puits P2 et P4 de Salah Bouchaour et de HamadiKrouma respectivement, ce qui confirme l'impact des activités agricoles et des rejets des eaux usées dans ces communes, alors que la teneur minimale est de 0.007 mg/l dosée au niveau du puits P1 d'El-Harrouch (Fig. 39).

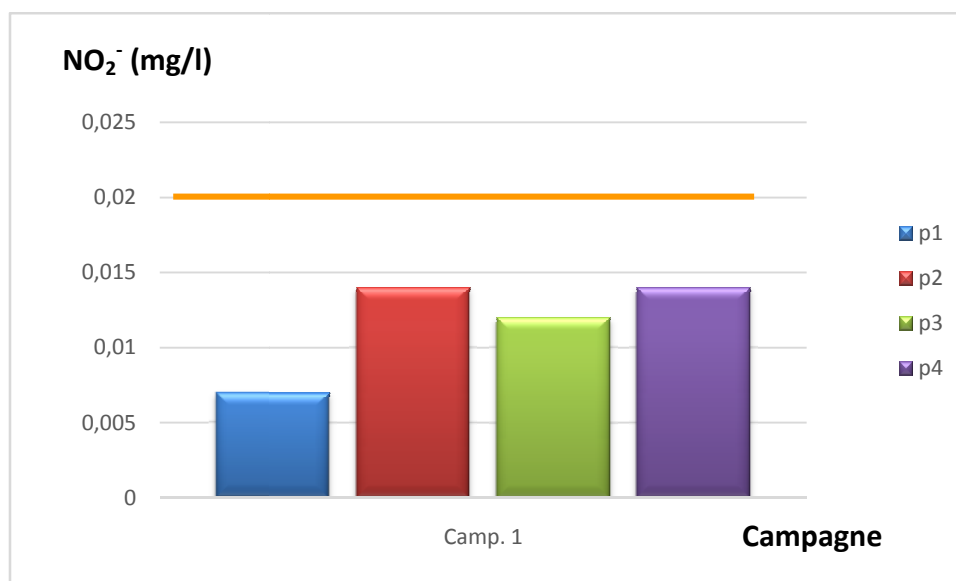


Fig. 40- Variation spatio-temporelle de nitrite.

1.15. Les paramètres bactériologiques

Les résultats obtenus de l'analyse bactériologique sur les germes indicateurs de pollution qui regroupent les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux, *E. Coli* et streptocoque fécaux sont comparés aux normes Algériennes des eaux potables.

Les résultats ont montrés que la qualité bactériologique est non satisfaisante pour le puits d'El-Harrouch, le puits de Ramdhane Djamel, le puits de Salah Bouchaour, le puits de HamadiKrouma de la première et la troisième campagnes ; cette non-conformité due à la présence des indicateurs de pollution tels que les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux, *E. coli*, la présence de ces germes dans l'eau des puits met en évidence une pollution d'origine fécale, humaine ou animale due aux rejets des eaux usées domestiques et ménagères évacuées sans aucun traitement de l'Oued Saf-Saf et ces affluents, infiltrés ensuite dans les formations perméables de la nappe alluvionnaire du sable, gravier et galet captée par ces puits (Tableau 3).

En particulier les streptocoques ont été absents dans les eaux de tous les puits analysés.

Tandis que, les eaux du puits P4 de HamadiKrouma de la 2^{ème} campagne sont de bonne qualité bactériologique à cause de l'absence totale des germes pathogènes (*E. coli*, Streptocoque, Coliforme fécaux, Coliformes totaux), ces eaux ont été conformes aux normes des eaux potables.

Tableau 3- Les résultats des analyses bactériologiques.

Puits	Compagnes	Coliformes Totaux	Coliformes Fécaux	<i>E.Coli</i>	Streptocoque	Qualité des eaux
EL-Harrouch (P1)	1	+	-	-	-	Mauvaise
	2	+	-	-	-	Mauvaise
	3	+	+	+	-	Mauvaise
Salah Bouchaour (P2)	1	+	-	-	-	Mauvaise
	2	+	+++	+++	-	Mauvaise
	3	+++	+++	+	-	Mauvaise
RamdhaneDjamel (P3)	1	+++	+++	-	-	Mauvaise
	2	+	-	-	-	Mauvaise
	3	+	+	-	-	Mauvaise
HamadiKrouma (P4)	1	++	-	-	-	Mauvaise
	2	-	-	-	-	Bonne
	3	+	-	-	-	Mauvaise

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'Oued Saf-Saf situé dans le sous bassin versant qui porte son nom avec 1130 km² de surface, est situé dans la partie centrale du territoire de la Wilaya de Skikda, il est le plus long cours d'eau de la région, avec une longueur totale de l'ordre de 55 km et plusieurs drains. Son intérêt socio-économique est marqué par les importantes agglomérations urbaines implantées sur les rives de cet Oued qui le considère comme une source vitale de la région caractérisée par une vocation agricole bien marquée. Son alimentation en eau se fait principalement par les eaux pluviales qui de l'ordre de 700 mm/an.

Les caractéristiques lithologiques de la plaine de l'Oued Saf-Saf, qui constitue la vaste nappe libre de la Wilaya formée d'alluvions, sables et graviers potentiellement chargée en eau souterraines issues de l'infiltration des eaux pluviales, rend ce grand réservoir très vulnérable à la pollution vis-à-vis de l'alimentation de la nappe par l'Oued en période des basses eaux, ou de l'Oued par la nappe dans la période des hautes eaux suite en différentes décharges publiques, eaux usées domestiques, rejets industriels liquides et lessivage des terrains agricoles.

La nappes du sable, gravier et galet de la vallée de l'Oued Saf-Saf, formée d'un horizon aquifère de terrains du Quaternaire et tertiaire captée par dizaines puits domestiques et forages destinés à l'alimentation en eau potable, alimentation du bétail et en irrigation de vastes champs agricoles présente un potentiel important en eaux souterraines de tout le bassin versant de l'Oued Saf-Saf vue sa vaste étendue et épaisseur dans la région étudiée.

De ce fait, l'étude de la qualité des eaux de cette nappe semble indispensable et impérative pour la protection de la santé humaine, la protection de l'environnement et la lutte contre chaque éventuelle pollution ou vulnérabilité menaçant la détérioration de la qualité des ces eaux potentiellement exploitées.

Notre étude de suivi de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de la nappe du sable, gravier et galet du secteur étudié dans quelques puits qui les captent dans la vallée de l'Oued Saf-Saf répartis sur quatre communes suivant le sens d'écoulement de ce dernier du Sud vers le Nord passant par les communes d'El-Harrouch, Salah Bouchaour, Ramdhane Djamel et Hamadi Krouma montre que ces eaux souterraines sont de mauvaise qualité du point de vue de leur potabilité dans certains communes et de bonne qualité dans d'autres :

- Leurs teneurs en calcium et magnésium sont très élevées dans tous les puits étudiés durant les trois campagnes, ce qui donne à ces eaux une dureté importante et

remarquable ; cette forte concentration en sels de magnésium et du calcium est due au fort lessivage des formations carbonatées des roches dolomitiques, calcaires et marneuses, qui constituent le principal faciès de la partie Sud du sous bassin versant de l'Oued Saf-Saf (nappes telliennes et flysch).

- Ces eaux souterraines sont ainsi riches en ammonium, indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel. L'ammonium est transformé en nitrite et en nitrate grâce à un processus de nitrification biologiquement conditionné. Les eaux de la partie centrale ; Salah Bouchaour et Ramdhane Djamel sont de mauvaise qualité du point de vue de potabilité en cet élément par rapport aux autres qui ne sont pas encore contaminées.
- La DBO5 des eaux souterraine de la nappe du sable, gravier et galet du secteur étudié est très élevée, elles sont de mauvaise qualité dans tous les puits en ce qui concerne sa richesse en matière organique et donc la possibilité de la présence de germes pathogènes dangereux pour la santé lors de l'utilisation de ses eaux en eau potable par les habitants de la région, l'impact des rejets liquides des eaux usées domestiques et le lessivage des terrain agricoles riches en engrais est bien individualisée.
- Le plus important, est que ces eaux sont de mauvaise qualité bactériologique dans la partie Sud et la partie nord du secteur étudié à El-Harrouch, Salah Bouchaour, Ramdhane Djamel et Hamadi Krouma à cause de la présence des germes pathogènes dangereux sur la santé humaine lors de l'utilisation des ces eaux en alimentation en eau potable tel que les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux, *E. Coli* et streptocoque fécaux, la présence de ces germes dans l'eau des puits met en évidence une pollution d'origine fécale, humaine ou animale due aux rejets des eaux usées domestiques et ménagères évacuées sans aucun traitement de l'Oued Saf-Saf et ces affluents, infiltrés ensuite dans les formations perméables de la nappe alluvionnaire du sable, gravier et galet captée par ces puits.

Dans la cadre de la protection de la qualité des eaux de la nappe du sable, gravier et galet de la vallée de l'Oued Saf-Saf des mesures de protection doivent être prise en considération en urgent :

- Surveiller attentivement et périodiquement la qualité des ces eaux pour les protéger contre la pollution ;
- Installation des stations d'épuration locales des eaux usées dans les agglomérations à population dense ;

- Organiser des campagnes de sensibilisation et d'information pour les habitants de ces agglomérations afin de prendre mieux de conscience et une culture sanitaire et de la protection de la santé public.
- Des campagnes de mesure et de suivi semblent indispensables pour le control permanent et régulier de ce cours d'eau principal qui traverse plusieurs communes et constitue la source primordiale des eaux superficielles dans la région ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aberkane M., (2011). Evaluation des qualités physico-chimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaet hadj tahar (Skikda), université 8 Mai 1945 Guelma, mémoire de Master.
- AFRON, (2000). Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD)-Norme NF T 90-354, p63.
- ANRH. (2000). Cahier de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, n°04, septembre 2000, 75p.
- Aslouni S. et Souames S. (2018). Procédure des traitements des rejets liquides du complexe GL1/K de la base industrielle de Skikda et leurs influences sur la qualité des eaux de l'aval de l'Oued Saf-Saf. Mémoire de Master, université de Skikda.
- Baibeche A. et Cheriet A. (2017). Evaluation des procédés de traitement des rejets industriels liquides de la raffinerie de Skikda et leurs impacts sur les eaux souterraines et superficielles de l'Oued Saf-Saf. Mémoire de master, Université du 20 Août 1955-Skikda.
- Belhadj, M-Z. (2017). Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la wilaya de Skikda, Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra.
- Ben Rabah, S. (2006). Etat actuelle des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (essai de synthèse) bilan – gestion – perspective. Mémoire de Magister : université badjimokhtar- Annaba, 150p.
- Bouanani A. (2005). Etude de quelque sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Thèse de Doctorat d'état en géologie appliquée : Université Abou BekrBelkaid Tlemcen, 250p.
- Dani K., Touil A. et Yezli NE-H. (2020). Suivi qualitatif des eaux de la partie avale de l'Oued Saf-Saf depuis la commune de Beni-Bécher à la zone industrielle de Skikda. Mémoire de Master, université de Skikda.
- Gendronneau M. (2006). Etude des secteurs du Croisic et de Pen-Bé : Estimation des apports continentaux et évaluation de l'état des eaux littorales. Edition IFREMER, 2678p.
- Gennin B., Chauvin C., Menard F., (2003). Cours d'eau et indice biologique : pollution, méthodes, IBGN ; 2^{ème} édition : 221p.
- Kadi A. (1997). La gestion de l'eau en Algérie, Hydrological Sciences Journal, 42:2, 191-197, DOI: 10.1080/02626669709492019.
- Khelfaoui F. (2014). Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Saf-Saf (nord-est Algérien). Thèse de Doctorat, Université d'Annaba. 300p.
- Khelfaoui F., Derradji Z. (2010). Gestion intégrée et qualité des eaux dans le bassin versant du Saf-Saf (wilaya de Skikda, nord-est algérien). Revue « Nature et Technologie ». N° 03, 50-56p.
- Khelfaoui H. (2014). Modélisation des écoulements et de transport de masse dans une région industrielle : Exemple de la nappe de Berrahal, Nord-Est Algérien. Thèse de

- | Doctorat. | Université | d'Annaba. |
|-----------|---|-----------|
| – | Labar S. (2009) .Evaluation de la pollution des eaux souterraines dans un milieu industriel cas de la zone industriel de Skikda, N.E algérien thèse de Doctorat Université Badji Mokhtar, Annaba 167p. | |
| – | Leyral G, Ronnefoy C, Guillet F. (2002). Microbiologie et qualité des industries agroalimentaire. Ed. Doin, Paris, 245p. | |
| – | Martonne E. De. (1929). Traité de géographie physique, 4eme édition. Tome 1 Notions générales. Climat. Hydrographie, 496p+cartes. T2: le relief du sol, 1057 pages. Armand Colin, Paris. | |
| – | Mekaoussi N. (2014). Comportement des éléments chimique dans les eaux de surface de hamam Debagh (Est Algérien). Mémoire de Magister. Université Hadj Lakhdar- Batna. | |
| – | Mrabet S. (2010). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun, Mémoire de magister, Université de Constantine. | |
| – | Osuolal O., Okoh A. (2017). Human enteric bacteria and viruses in five wastewater treatment plants in the Eastern Cape, South Africa. Journal of Infection and Public Health 10, 541–547. https://doi.org/10.1016/j.jiph.2016.11.012 . | |
| – | PDAU de la commune d'El harrouch, W. Skikda (2011), Algérie, PP : 13-36. | |
| – | Rodier J, Legube B, Merlet N. et coll., (2009). L'analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, Paris, 1579p. | |
| – | Youmbi J.G.T., Feumba R., Njitat V.T., De Marsily G., Ekodeck G.E. (2013). Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun. Comptes Rendus - Biologies 336: 310–316. https://doi.org/10.1016/j.crv.2013.04.013 . | |
| – | Sacchi C.F., Testard P. (1971). Ecologie animale (organismes et milieu). Edition Doin, 480p. | |

Nom et prénom : MEDJROUD Khaoula

Nom et prénom : MEDROUA Nada

Nom et prénom : MEZGACHE Narimane

Nom et prénom : MEZGHACHE Randa

Titre : Évaluation et qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale des sables, graviers et galets de l'Oued Saf-Saf, selon le trajet El-Harrouch-Skikda.

Résumé :

L'Oued Saf-Saf est l'un des trois principaux Oueds de la Wilaya de Skikda, il draine une surface de 1158 km², il est soumis à de nombreux rejets y compris les apports d'Oued Marhoum et Zeramna qui tous deux acheminent des polluants dans leurs effluents. Le système aquifère de la vallée de l'Oued Saf-Saf constitué par la nappe libre du sable et gravier et galet captée par dizaines de puits et forages destinés à l'alimentation en eau potable. Dans le but de prévoir l'impact des effluents anthropiques, industriels et agricoles sur les eaux souterraines de ce système, cette étude de suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines selon le trajet d'El-Harrouch jusqu'à Hamadi Krouma (Skikda) a été effectuée. Notre étude de suivi montre que ces eaux sont relativement de mauvaise qualité du point de vue de leur portabilité dans toutes les communes du secteur étudié (El-Harrouch, Ramdhane Djamel, Salah Bouchaour, Hamadi Krouma) en ce qui concerne sa richesse en matière organique, ammonium, calcium et magnésium et donc de dureté et la présence des germes pathogènes dangereux dus à la pollution d'origine urbaine et agricole.

Mots clés : *Oued Saf-Saf, Eaux souterraines, Rejets, Puits, Norme.*