



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj – BOUIRA
Faculté des science et technologie
Département de génie civil

Mémoire de master académique
Domaine : génie civil
Filière : HYDRAULIQUE
Spécialité : RESSOURCES HYDRAULIQUES

Présenté par :

-MEGROUS Ridha
- SID Bassam

Thème :

Caractérisation de l'eau souterraine de la région de Chlef

Devant le jury :

- Haddad Samir	MCA	Président
- GharnaoutRedhouan	MCA	Examineur
- Metaiche Mehdi	MCA	Encadreur

Année universitaire 2022/2023

DÉDICACE

Je dédie ce travail



Avant tout à l'âme de ma mère **FATOME**

A mon père **ABDELKADER**



Et aussi à mes sœurs et mes frères **NAIMA, RAYAN, BRAHIM, KHALIL,
MARAME**

A tous mes amis **KADIROU, ELOUANAS, AHMED, WALID, FAYCEL,
ZAKI, TAYEB, ABDRAZAK, CHARAF, YASINE, MAHFOUD, HAFSA,
RIHAM, RZKIYA, BILAL, YASINE, NASSIM**

-Ingénieur de bureau d'étude : **LABNI ABDELWAHHAB**

-Monsieur : **Lyes Taib**

RIDHA

DÉDICACE

Je dédie ce travail

A mon père **MOSBAH**

A ma chère mère **JADLA**

Et aussi à mes sœurs et mes frères

Ma tante et ma deuxième mère **DJEMAA**

A tout la famille **SID**

A tous mes amis **ABDESLAM, YUCEF, NASSIM, ELOUANAS, ZAKI,**

MOHAMED, YASSINE, SALAH, AMAR, ABDELLATIF,

AHMED, DJOUABI, IMANE,

RIHAM, RZKIYA



BASSAM

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de ma formation et qui m'ont aidé à rédiger cette lettre. Tout d'abord, je voudrais remercier l'encadreur **D^rMETAICHE Mehdi**, professeur d'hydraulique à université de Bouira, pour sa patience, sa disponibilité et surtout pour ses conseils judicieux qui ont alimenté ma réflexion, je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de Bouira et les intervenants professionnels responsables de mon enseignement, pour avoir introduit la partie théorique.

Je tiens à exprimer ma gratitude aux personnes qui nous ont apporté toute l'aide nécessaire pour réaliser cette mémoire :

- Tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail :

Mr. METAICHE M

Mr. Haddad S

Mr. Gharnaout R

À tous les amis qui ont fait part de notre souffrance et nous ont soutenus pour toute leur aide.

- A nos pères qui ont été la raison pour laquelle nous avons atteint ce stade de notre vie ; nous remercions pour tout ce qu'ils nous ont donné dans notre vie et pour leurs sacrifices

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة جودة المياه الجوفية في الهدف من هذا العمل هو دراسة جودة المياه الجوفية في منطقة شلف. ولتحقيق ذلك ،
سمح لنا هذا بتوصيف (. نعتد على القياسات والدراسات الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في هذه المنطقة ، التي تجريها خدمات شركة
كيمياء هذه المياه الجوفية لاستخدامها في مياه الشرب والري ، وكذلك مصدرها

أجريت الدراسة من خلال فحص نتائج التحليلات الكيميائية لعينات المياه المأخوذة (36 بئراً) باستخدام الرسوم البيانية الكيميائية (بايبر وشولر
طرق تطبيق التحليلات وباستخدام تحليل المكونات الرئيسية وستيف وويلكوكس)

الرئيسية العناصر شلف، الجودة، الجوفية، المياه : **المفتاحية الكلمات**

Abstract

The study of groundwater quality in the CHLEF region is the objective of this work. To achieve this, we rely on the measurements and physicochemical studies of the groundwater in this area, carried out by the services of the Algérienne des eaux (ADE). This allowed us to characterize the chemistry of these groundwaters for their use in drinking water and irrigation, as well as their origin.

The study was conducted by examining the results of the chemical analyzes of the water samples taken (36 boreholes) using the chemical diagrams (Piper, Schoeller, Stiff and Wilcox) using the Avignon hydrogeochemistry software (DIAGRAMS).

Keywords: groundwater, quality, shelving, main elements

Résumé :

L'étude de la qualité des eaux souterraines de la région de CHLEF est l'objectif de ce travail. Pour y parvenir, nous nous appuyons sur les mesures et les études physicochimiques des eaux souterraines de cette zone, menées par les services de l'Algérienne des eaux (ADE). Ce qui nous a permis de caractériser le chimisme de ces eaux souterraines pour leur utilisation dans l'eau potable et l'irrigation, ainsi que leur origine.

L'étude a été menée en examinant les résultats des analyses chimiques des échantillons d'eau prélevés (36 forages) en utilisant les diagrammes chimiques (piper, Schoeller, Stiff et Wilcox) à l'aide du logiciel d'hydrogéochimie d'Avignon (DIAGRAMMES).

Mots clés : eau souterraine, qualité, rayonnage, principaux éléments

Sommaire:

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Recherche bibliographique	
I.1. Introduction :	4
I.2. Etat de l'eau :	4
I.2.1. État solide	4
I.2.2. État liquide :	4
I.2.3. État gazeux :	4
I.3. Qualité de l'eau:	5
I.3.1 Eau verte :	5
I.3.2. Eau bleue :	5
I.3.3. Eau grise :	5
I.4. Sources naturelles de l'eau :	5
I.4.1. Eaux de mer :	5
I.4.2. Eaux superficielles :	6
I.4.3. Eaux Souterraines :	6
I.4.3.1. Les nappes de l'eau :	7
I.4.3.2. Les origines des eaux souterraines :	9
I.4.4. Cycle de l'eau :	10
I.5. Principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface :	11
I.6. Qualité de l'eau de consommation :	11
I.6.1. Qualité physico-chimique :	12
I.6.1.1. Température :	12
I.6.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :	12
I.6.1.3. Turbidité :	13
I.6.1.4. Conductivité électrique :	13
I.6.1.5. Matières en suspensions (MES) :	13
I.6.1.6. Ion de calcium (Ca^{2+}) :	13
I.6.1.7. Ion de magnésium (Mg^{2+}) :	14
I.6.1.8. Ion de sodium (Na^+) :	14
I.6.1.9. Ion de potassium (K^+) :	14
I.6.1.10. Ion de fer (Fe) :	14
I.6.1.11. Chlorures (Cl^-) :	14
I.6.1.12. Nitrates (NO_3^-) :	15
I.6.1.13. Les nitrites (NO_2^-) :	15

I.6.1.14. Les sulfates (SO ₄ ⁻²) :	15
I.6.1.15. Le fluor (F) :	15
I.6.2. Qualité bactériologique :	16
I.7. Normes de la qualité de l'eau :	16
I.8. La pollution des eaux souterraines :	17
I.8.1. Les différents critères de pollution des eaux souterraines :	17
I.8.1.1. Selon leur origine :	18
I.8.1.2. Selon leur nature :	18
I.8.1.3. Selon leur impact sur la qualité de l'eau :	18
I.9. Transfert des polluants dans les eaux souterraines :	19
I.10. Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines :	19
I.11. Vulnérabilité des eaux souterraines :	20
I.12. Datation des eaux souterraines :	20
I.13. Traitement des eaux souterraines :	21
I.13.1. Prétraitement :	21
I.13.2. Traitement de désinfection :	21
I.13.3. Traitement chimique :	21
I.13.4. Traitement biologique :	21
I.13.5. Adsorption :	21
I.13.6. Osmose inverse :	22
I.14. Les méthodes et moyens d'analyse des eaux souterraines en Algérie :	22

Chapitre II : PRSENTATION DE LA REGION DE CHLEF

II.1. Introduction :	22
II.2. Organisation administrative de la wilaya de Chlef :	22
II.3. RELIEF :	23
II.4. Situation géographique de la zone d'étude :	24
II.5. Géologie :	25
II.6. Climatologie :	26
II.7. Vents:	26
II.8. Ensoleillement :	27
II.9. Évaporation :	27
II.10. Gelées :	27
II.11. Pluviométrie :	28
II.12. Température :	29
II.13. Hydrogéologie :	31
II.13.1 Haut Chéiff :	31

II.13.1. Les calcaires Jurassiques :.....	32
II.13.2. La nappe du Moi-plio-Quaternaire :.....	32
II.13.2.1. Description de l'aquifère :.....	32
II.13.3. Ressources exploitables :	32
II.14. Moyen Chélif :	33
II.14.1. La nappe alluviale :	33
II.14.1.1. Description de l'aquifère :.....	33
II.14.2. La nappe des calcaires à Lithothamniées	33
II.14.2.1. Description de l'aquifère	33
II.14.3. Les grès astiens :	33
II.14.3.1. Description de l'aquifère :.....	33
II.15. Bas Chélif :.....	34
II.15.1. Le Miocène calcaire :	34
II.15.3. Le Quaternaire-Pliocène continental :.....	34
II.16. Hydrographie et hydrologie :	34
Chapitre III : Méthodologies et Résultats et discussions	
III.1. Introduction :.....	36
III.1 Présentation de logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.) (diagrammes).....	37
III.1.1. Diagramme de Piper :	37
III.1.2. Diagrammes d'équivalence de charge :	38
III.1.2.1. Éléments d'interprétation :.....	38
III.1.3. Diagramme de SchoelerBerkaloff :.....	38
III.1.4. Diagramme de Stabler –Collins :.....	39
III.1.5. Diagramme de Stiff :.....	39
III.1.6. Diagramme de Richards ou Riverside ou Wilcox :.....	40
III.2. Résultats et discussions :.....	41
III.2.1. Paramètres physico – chimique (années :2008 - 2016) :	41
III.2.1.1. Paramètres physiques :.....	41
III.4.1.2. Paramètres chimiques :	42
III.5. Vérification de la balance ionique :	43
III.6. Calcul des différents titres :	44
III.7. Etude de l'équilibre calco-carbonique de l'eau (indices de saturation) :.....	45
III.7.1. Indice de Langelier :	45
III.7.2. Indice de saturation de Ryznar (indice de stabilité) :.....	46
III.7.3. Indice de saturation de Larson IC (indice de corrosivité) :.....	47
III.8.Evaluation de la qualité des eaux des puits pour la potabilité :	48

III.8.1 Paramètres physiques d'eau :	49
III.8.1.1 Température (T °C) :	49
III.8.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :	49
III.8.1.3. Conductivité électrique (CE) :	50
III.8.1.4. La dureté (TH) :	51
III.7.2. Paramètres chimiques :	52
III.7.2.1. Cation :	52
III.7.2.2. Anion :	56
III.8. Classification chimiques des eaux souterraines (eaux de Forages) :	60
III.8.1. Classification des eaux souterraines selon diagramme de PIPER (faciès chimique) :	60
III.8.2. Classification des eaux souterraines selon diagramme de Schoeller-Berkaloff :	61
III.8.3. Classification des eaux souterraines selon diagramme de Stiff :	62
III.8.4. Classification des eaux souterraines selon diagramme de Stabler ou de collins :	63
III.9. La capacité des eaux souterraines à être utilisées pour l'irrigation :	65
III.9.1. Conductivité électrique : (mesuré à 25°C) :	65
III.9.2.1. Diagramme de Richards ou Riverside (taux d'absorption du sodium SAR) :	66
III.9.2.2. Diagramme de Wilcox log :	69
III.9.2.3. Diagramme de Riverside :	70
III.9.3. Calculer les indices de l'eau pour l'utilisation agricole:	72
III.9.3.1 Indice de perméabilité (PI) :	72
III.9.3.2 Nitrate :	73
III.9.3.3 Magnésium Hazard (risque) :	73
III.9.3.4 Kelly's ratio (KR) (kelly 1946):	74
III.10. Représentation cartographique de l'évolution de la qualité via la Considération pH, conductivité, et dureté totale :	75
Conclusion :	79
Conclusion générale	81
Bibliography	82
Annexes	87

Liste des figures

Figure I. 1. La composition de l'eau à l'échelle planétaire (GETTING, S.D.).....	4
Figure I. 2. Présentation des eaux souterraines (BADAOU, 2019).....	7
Figure I. 3. Les différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012).....	9
Figure I. 4. Cycle de l'eau (CIE, 2013).....	10
Figure I. 5. Différentes sources de pollution pouvant affecter les eaux souterraines. (JERRY S ET Y. MAYSTRE).....	18
Figure I. 6. schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique. (FRIOUA SALIM, 2014.).....	19
Figure I. 7. Temps de résidence et âges des eaux souterraines. (BADAOU, 2019).....	21
Figure II. 1. Localisation de wilaya de Chleff.. ..	22
Figure II. 2. Limites administratives de wilaya de Chleff.....	23
Figure II. 3. Présentation de la zone d'étude	24
Figure II. 4. Coupes géologiques dans le bassin de Chélif.....	26
Figure II. 5. Pluie interannuelle (1968-2001)	29
Figure II. 6. Haut-Chélif	30
Figure II. 7. Moyen-Chélif.....	31
Figure II. 8. Bas-Chélif H'madna.....	31
Figure III. 1. Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.	37
Figure III. 2. Variation du pH des forages étudiés 2008	50
Figure III. 3. Variation de la conductivité des forages étudiés en (μS -)	50
Figure III. 4. Variation de la dureté des forages étudiés en ($^{\circ}\text{F}$)	51
Figure III. 5. Variation de la teneur en calcium dans les Forages d'eau.	53
Figure III. 6. Variation de la teneur en magnésium dans les Forages d'eau (2008).....	54
Figure III. 7. Variation de la teneur en sodium dans les Forages d'eau (2008).	55
Figure III. 8. Variation de la teneur en potassium dans les Forages d'eau (2008).....	56
Figure III. 9. Variation de la teneur en bicarbonate dans les Forages d'eau (2008).....	57
Figure III. 10. Variation de la teneur en chlorure dans les Forages d'eau (2008).....	58
Figure III. 11. Variation de la teneur en sulfate dans les Forages d'eau (2008).....	59
Figure III. 12. Variation de la teneur en nitrate dans les Forages (2008).....	60
Figure III. 13. Classification des Forages d'eau sur diagramme de PIPER.....	61
Figure III. 14. Représentation des résultats d'analyses (12 Forages) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.	62
Figure III. 15. Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de Stiff.....	63
Figure III. 16. Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de Stabler (2008).....	64
Figure III. 17. Diagramme de Wilcox log selon méthode de SAR	69
Figure III. 18. Diagramme de Riverside selon méthode de SAR	70
Figure III. 19. Diagramme de Wilcox selon méthode de Pourcentage de sodium %Na.....	71
Figure III. 20. Localisation des puits	75

Figure III. 21. Distribution de la conductivité	76
Figure III. 22. Distribution du TH.....	77
Figure III. 23. Distribution du pH	78

Liste des tableaux

Tableau I. 1. Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Bourrier R., 2011)	11
Tableau I. 2. Normes bactériologiques des eaux souterraines (OMS, 2004)	16
Tableau I. 3. Normes physico-chimique des eaux souterraines (OMS, 2004). (NA, 1992) (JORA, 2011)	17
Tableau II. 1. Découpage administratif de la wilaya de Chlef (DCW de Chlef)	23
Tableau II. 2. Moyennes mensuelles du Vitesses vent (1999-2010). (ONM, 2011)	27
Tableau II. 3. Ensoleillement moyen mensuel (1999-2010). (ONM, 2011)	27
Tableau II. 4. Évaporations moyennes mensuelles (1996-2010). (ONM, 2011)	27
Tableau II. 5. Données pluviométriques année 2001/2002 et moyennes Interannuelles (1968- 2001), d'après (Cheliff.A.B.H., 2004)	28
Tableau II. 6. Températures moyennes mensuelles et pluies mensuelles (période 1975 à 2006) d'après (ONM, 2011)	29
Tableau III. 1. Caractères physiques des eaux de forages de la wilaya de Chlef pour année 2008 (ADE 2008)	41
Tableau III. 2. Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Chlef pour année 2008 (ADE 2008)	42
Tableau III. 3. Résultats de la balance ionique des analyses physico-chimie année 2008	43
Tableau III. 4. calculer différents titres (2008)	45
Tableau III. 5. Variation de l'indice de Langelier IL.2008	46
Tableau III. 6. Calculs de l'indice de Ryznar 2008	47
Tableau III. 7. Calculs de l'indice de corrosivité	48
Tableau III. 8. Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité (SAURET, Elie Serge Gaëtan, 2005)	51
Tableau III. 9. Qualité de l'eau en fonction du TH Année	52
Tableau III. 10. Les teneurs de calcium	53
Tableau III. 11. Teneurs de sodium	55
Tableau III. 12. Teneurs de Potassium	56
Tableau III. 13. Teneurs de Chlorure	58
Tableau III. 14. Teneur de Sulfate	59
Tableau III. 15. Teneurs de nitrate	60
Tableau III. 16. Familles d'eau en région de chleff.	63
Tableau III. 17. Interprétation de diagramme de stabler	64
Tableau III. 18. Classification de conductivité (BADAOU, 2019)	65
Tableau III. 19. Classification des puits	65
Tableau III. 20. Classification de SAR (BADAOU, 2019)	66
Tableau III. 21. Calcul du SAR pour les puits étudiés année 2008	66
Tableau III. 22. Interprétation des diagrammes	67
Tableau III. 23. Classification de Na (%)	71
Tableau III. 24. Résultat de PI % et interprétation 2008	72
Tableau III. 25. Résultats de MH des forages étudiés 2008	73

Tableau III. 26. Résultats de KR des forages étudiant année 2008.....74

Introduction générale

L'eau est essentielle à la vie biologique. Non seulement elle est un nutriment essentiel, mais elle participe également à de nombreuses fonctions physiologiques importantes telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets. Sans cette substance à la fois simple et complexe, la vie sur Terre n'aurait jamais existé, c'est donc un élément précieux qu'il convient de préserver pour les générations à venir.

Une eau qui est destinée à la consommation humaine est considérée comme potable lorsqu'elle est dépourvue de substances chimiques et biologiques dangereuses pour la santé. Selon l'OMS (2005). Chaque année, 1,8 millions de personnes, dont 90 % des enfants de moins de cinq ans, vivent principalement dans les pays en développement, meurent de maladies diarrhéiques (y compris le choléra); où 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse.

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides. 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine. Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment de l'infiltration des eaux usées et de l'utilisation des engrais chimiques en agriculture. D'autres études ont révélées que la pollution des eaux souterraines est liée à la présence des fosses septiques, à l'absence du traitement, au manque du réseau d'assainissement et au non-respect des conditions d'hygiène publique. (UNWATER, s.d.).

En Algérie, les principales sources d'eau potable sont les eaux de surface, mais de plus en plus d'individus et de municipalités se tournent vers les nappes phréatiques, qui renferment un volume énorme d'eau exploitable.

Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline. La surexploitation des couches aquifères diminue la capacité des couches sous-jacentes à retenir l'eau.

L'eau est en danger dans sa qualité et sa quantité car certaines régions algériennes ne sont pas en mesure de fournir suffisamment d'eau potable et d'équipements d'hygiène.

Cette présente étude concerne la qualité des eaux souterraines au niveau de la région de CHLEF. Elle est divisée en deux parties :

La première section : est destinée à recueillir des informations concernant la qualité des eaux souterraines de la région, en particulier les éléments importants et les caractéristiques physico-chimiques. Cette section est composée de deux chapitres : la première traite de la recherche bibliographique générale sur l'eau et les eaux souterraines, tandis que la deuxième traite de l'hydrologie et de l'hydrogéologie de la région CHLEF.

La deuxième partie : est un chapitre sur le traitement et l'exploitation des données en utilisant des diagrammes pour représenter les différentes faciès chimiques et classifications de l'eau, déterminer leur origine avec l'interprétation des différents résultats et tirer le maximum d'informations possibles à l'aide de logiciels. Nous avons examiné les résultats des analyses chimiques de 8 ans , en retirant 3 analyse, ce qui représente 135 analyse gérés par le laboratoire des services des eaux (ADE Bouira).

Dans ce travail, une campagne de collecte d'eau de 8 ans a été étudiée (2008-2009-2010-2011-2012-2013-2014-2016).

A la fin, l'étude se termine par une conclusion générale



Chapitre 1 :
Recherche bibliographique

I.1. Introduction :

L'eau est une source de vie pour les Humain, animaux et les plantes sur la Terre et est nécessaire à la vie sur la planète. La proportion d'eau sur la Terre est estimée à environ 71% de la surface de la Terre étant couverte d'eau et il y a environ 1% d'eau liquide sur la Terre.

L'existence de l'eau dans la nature se fait par plusieurs moyens, comme les pluies, les océans, les rivières et les étangs. Il y a aussi de l'eau stockée sous forme de glace, de neige et de sources souterraines. Il y a également de l'eau sous forme de nappes phréatiques à l'intérieur de la Terre, qui peuvent être utilisées pour les activités agricoles et industrielles.

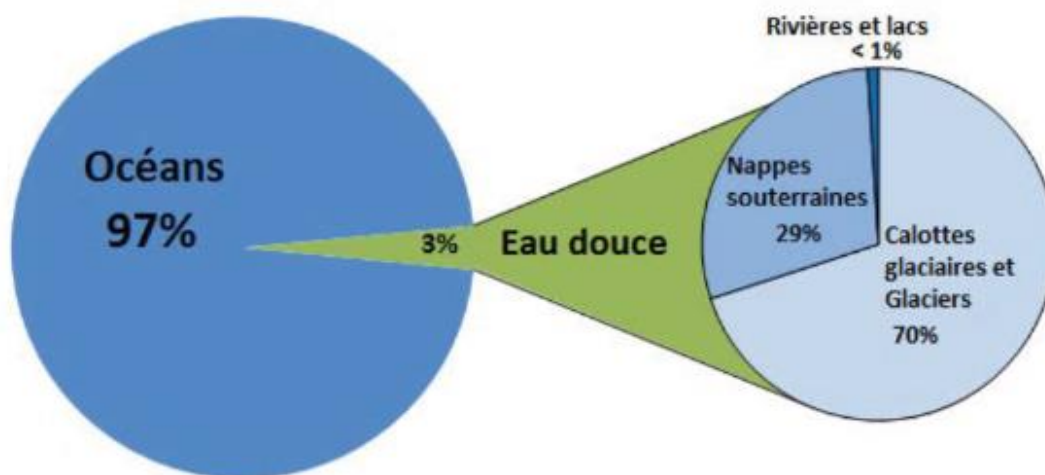


Figure I. 1 : La composition de l'eau à l'échelle planétaire (UNWATER, s.d.).

I.2. Etat de l'eau :

L'eau est le seul composé naturel qui existe sous forme solide, liquide et gazeuse. L'état de l'eau change de liquide à solide ou gazeux et vice versa en fonction des conditions extérieures, telles que la température et la pression.

I.2.1. État solide : C'est l'état de l'eau glacée, lorsqu'elle est à une température inférieure à 0°C. Dans cet état, l'eau devient solide et se transforme en glace.

I.2.2. État liquide : C'est l'état de l'eau liquide, lorsqu'elle est à une température comprise entre 0°C et 100°C. Dans cet état, l'eau reste liquide et se comporte comme un mélange normal.

I.2.3. État gazeux : C'est l'état de l'eau gazeuse, lorsqu'elle est à une température supérieure à 100°C. Dans cet état, l'eau devient gazeuse et se déplace à une vitesse supérieure à celle de l'eau liquide.

Tous ces états ont un impact sur les différentes propriétés de l'eau, telles que la pression, la température et la densité. Parmi ces états, l'état liquide de l'eau est le plus important pour la vie sur

Terre, car il permet à l'eau de jouer un rôle important dans les activités vitales telles que la purification, le réchauffement du corps et d'autres activités (water properties explained).

I.3. Qualité de l'eau :

Selon les scientifiques, lors que l'on considère trois aspects de la consommation d'eau, on trouve :

I.3.1 Eau verte :

C'est de l'eau qui existe sous la forme d'une rivière qui circule dans l'écosystème naturel, comme les nuages, le brouillard, la pluie, aussi que l'humidité est absorbée par le sol et les plantes.

I.3.2. Eau bleue :

Ressources en eau, c'est-à-dire lacs, réservoirs, Les eaux souterraines (aquifère) et tous sont utilisées comme intrants Activité humaine (agriculture ,irrigation ,industrie ,usage domestique).

I.3.3. Eau grise :

Tous les polluants causés par l'activité humaine doivent être dilués et éliminés par l'eau douce. Elle est mesurée en volume d'eau. La qualité de l'eau ambiante dépasse les normes acceptables car elle absorbe les polluants (R. BOUCHENEB, 2018).

I.4. Sources naturelles de l'eau :

Les ressources en eau naturelle disponibles se composent des eaux souterraines (par infiltration et nappes phréatiques), des plans d'eau stagnants (lacs, réservoirs) ou en mouvement (rivières, fleuves) et des eaux océaniques (Ayad, 2017).

Les caractéristiques de chaque source d'eau sont le reflet de l'interaction entre l'eau et son environnement. Les eaux naturelles renferment des substances dissoutes, principalement des sels minéraux provenant des couches géologiques qu'elles traversent. On peut également y trouver de petites quantités de manganèse, de fer, de zinc, de cobalt et de plomb. Le corps humain est capable de s'adapter à une grande variété de compositions d'eau. Nos cellules et notre sang contiennent des électrolytes (des sels), donc l'eau déminéralisée (ou distillée) est inappropriée, car un phénomène "osmotique" entraînerait la migration des sels présents dans nos cellules ou notre sang vers l'eau, réduisant ainsi leur concentration normale dans notre corps (formation, 2016).

I.4.1. Eaux de mer :

L'eau de mer peut être utilisée comme source d'eau brute en cas d'absence d'eau douce disponible. Elle se caractérise par sa teneur en sels dissous, connue sous le nom de salinité, la plupart des eaux de mer ayant une salinité allant de 33 000 à 37 000 mg/l. (BOEGLIN, 2009).

I.4.2. Eaux superficielles :

Le terme "eaux superficielles" englobe toutes les formes d'eau ouvertes à l'atmosphère, telles que les fleuves, les rivières, les lacs, les réservoirs, les ruisseaux, les lacs de barrage, les retenues collinaires, les mers, les estuaires, etc. Il inclut également les sources, les puits et tout autre point de collecte d'eau directement influencé par ces eaux. Dans le contexte d'un aquarium, la surface de l'eau, communément appelée "eau de surface", est associée aux eaux superficielles (DEGREMONT, 2005).

I.4.3. Eaux Souterraines :

Les eaux souterraines bénéficient généralement d'une protection contre les sources de pollution en raison de leur emplacement souterrain. En raison de leur stabilité à long terme, elles présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Faible contamination bactérienne
- ✓ Faible turbidité
- ✓ Température constante
- ✓ Faible indice de couleur
- ✓ Débit constant
- ✓ Souvent une dureté élevée
- ✓ Concentrations élevées de fer et de manganèse (MYRAND, 2008).

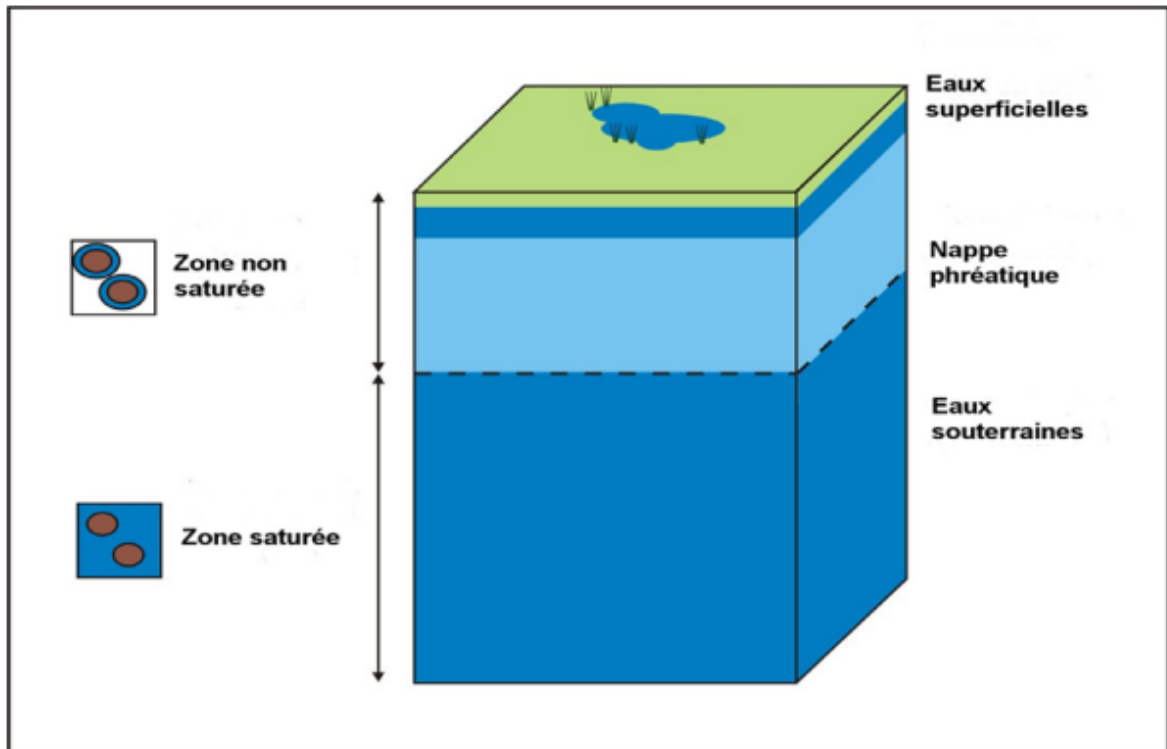


Figure I. 2 : Présentation des eaux souterraines (BADAOU, 2019).

I.4.3.1. Les nappes de l'eau :

On désigne par "nappe" ou "aquifère" une couche de sol qui renferme de l'eau et qui peut être exploitée comme source d'approvisionnement en eau souterraine (KETTAB, 1992).

Les nappes phréatiques ne sont pas comparables à des lacs ou des rivières souterraines. Elles représentent plutôt de l'eau stockée dans les interstices ou les fissures de roches saturées par les précipitations qui ont pénétré dans le sol (AEAG, 2012).

I.4.3.1.1. Les différents types de nappes :

Elle est basée sur une couche imperméable plus profonde et peut être :

I.4.3.1.1.1. Nappe libre :

La nappe libre est une couche d'eau souterraine qui est en contact direct avec l'air. Elle peut être trouvée dans des puits, des cavités souterraines et des réservoirs d'eau.

I.4.3.1.1.2. Nappe captée :

La nappe captée est une couche d'eau souterraine qui est retenue par une barrière géologique ou une membrane en plastique. Elle est souvent utilisée pour alimenter les puits et les forages d'eau potable.

I.4.3.1.1.3. Nappe artésienne :

La nappe artésienne est une couche d'eau souterraine qui est enfermée sous une pression constante entre des couches de roche imperméables. Elle peut être trouvée dans des aquifères artésiens.

I.4.3.1.1.4. Nappe phréatique :

Les nappes phréatiques reposent sur une couche imperméable à proximité du sol. En général, ils sont trouvés et peuvent être contaminés. Comme elles représentent les plus grandes réserves d'eau douce dans la plupart des régions du monde, elles jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau potable. Il arrive parfois qu'elles affleurent à la surface du sol sous forme de source ou qu'elles soient capturées à l'aide de puits (WISSAM, 2017).

I.4.3.1.1.5. La nappe alluviale :

La nappe alluviale se trouve dans les grandes couches de sables, graviers et galets des rivières et des fleuves, et est un lieu clé pour les échanges entre les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être alimenté par les inondations et, inversement, restituer de l'eau aux cours d'eau en cas de sécheresse.

I.4.3.1.1.6. Nappe karstique :

La nappe karstique se trouve dans les formations calcaires. Les eaux dissolvent le calcaire en utilisant les fissures existantes, formant ainsi des espaces vides dans lesquels l'eau peut circuler. Ces espaces peuvent être très grands (comme des gouffres ou des cavernes). Dans ces conduits, l'eau peut circuler rapidement et former des cours d'eau souterrains. Aux endroits où les eaux sortent de la terre, les sources ont souvent des débits qui varient au fil du temps (leur quantité peut changer au cours de l'année). (BADAOU, 2019) (Voir la figure I.2).

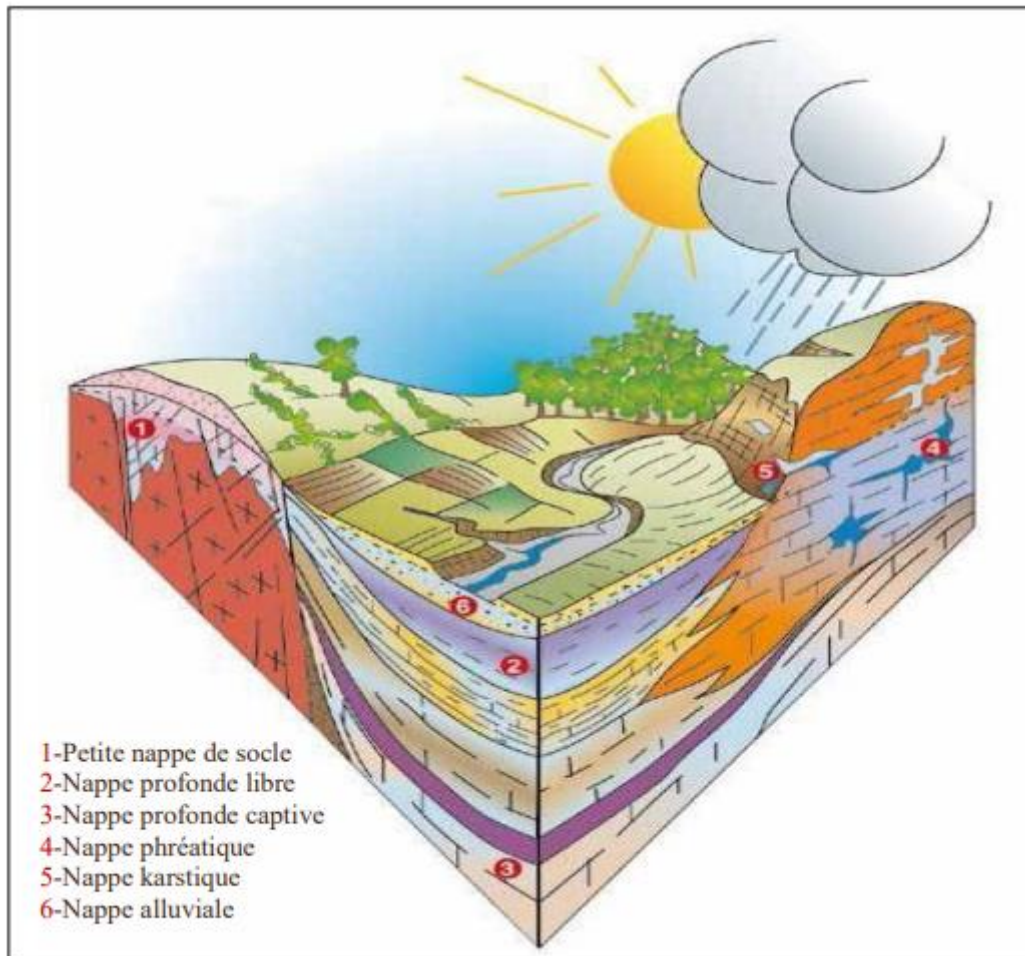


Figure I. 3 : Les différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012).

I.4.3.2. Les origines des eaux souterraines :

I.4.3.2.1. Eaux météoriques :

Les eaux souterraines proviennent principalement des précipitations (pluie, neige) et de leur infiltration dans le sous-sol, ce processus étant de nature météorique. Dans les aquifères étendus, ces eaux peuvent également fournir des indications sur les paléoclimats, provenant de périodes où le climat était différent (BADAOUÏ, 2019).

I.4.3.2.2. Eaux connées :

Les eaux souterraines présentes à une profondeur de 1 à 2 km sont le résultat de l'interaction des réservoirs d'eau météorique avec les roches avoisinantes. Ces eaux sont généralement salées. Les eaux connées peuvent influencer l'hydrologie de formations géologiques qui ont été récemment enfouies où être emprisonnées dans des roches à faible perméabilité où toute l'eau n'a pas été expulsée. Souvent, ces eaux sont présentes depuis la formation des roches (BADAOUÏ, 2019).

I.4.3.2.3. Eaux juvéniles :

L'eau juvénile est de l'eau qui a été piégée dans les roches de la croûte terrestre lors de leur formation. Cette eau est considérée comme "juvénile" car elle est restée piégée dans la roche depuis des millions, voire des milliards d'années, et n'a jamais été en contact avec l'atmosphère terrestre.

I.4.4. Cycle de l'eau :

Le cycle de l'eau est un processus naturel fondamental qui permet à l'eau de circuler entre l'atmosphère, la surface terrestre et les nappes souterraines. Il débute par l'évaporation de l'eau provenant de sources telles que les océans, les rivières et les lacs, se transformant ainsi en vapeur d'eau dans l'atmosphère. Cette vapeur d'eau se condense pour former des nuages, qui sont ensuite déplacés par les vents et peuvent finalement se déverser sous forme de précipitations, comme la pluie, la neige ou la grêle.

Une partie de l'eau issue des précipitations s'infiltrate dans le sol, où elle peut être absorbée par les plantes ou rejoindre les nappes souterraines. Les nappes souterraines peuvent également être alimentées par les eaux de surface qui s'infiltrent dans le sol. L'eau des nappes souterraines peut remonter à la surface sous forme de sources, de rivières souterraines ou être captée par des puits. Parallèlement, une partie de l'eau de surface s'écoule vers les océans, les lacs et les rivières, où elle peut à nouveau être évaporée pour recommencer le cycle d'évaporation et de précipitation.

Le cycle de l'eau est d'une importance vitale pour la vie sur Terre, car il assure le maintien de la quantité et de la qualité de l'eau nécessaires aux êtres vivants. Il revêt également une grande importance pour les activités humaines, telles que l'agriculture, l'industrie et la production d'énergie (WATER, 2020).



Figure I. 4 : Cycle de l'eau (CIE, 2013).

I.5. Principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface :

Les eaux souterraines et les eaux de surface sont deux sources d'eau distinctes qui se comportent différemment dans leur circulation et leurs caractéristiques physiques et chimiques. Les principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface sont montrées sur le tableau I.1.

I.6. Qualité de l'eau de consommation :

D'un point de vue bactériologique, les eaux souterraines sont généralement dépourvues de contamination (UNICEF, 1999). Sur le plan du génie sanitaire, les eaux souterraines sont préférées aux eaux de surface en raison de leurs nombreux avantages (H, B FIAMBSCH, 1998). La qualité intrinsèque des eaux souterraines ne se limite pas aux aspects sanitaires et techniques liés à leur utilisation en tant qu'eau potable. Il est essentiel de tenir compte du fait que les eaux souterraines alimentent les cours d'eau, ce qui signifie que certaines de leurs caractéristiques chimiques et microbiologiques peuvent avoir un impact sur la vie aquatique. Il est crucial que l'eau souterraine satisfasse à des normes spécifiques en matière de bactériologie et de physique-chimie afin de garantir une qualité suffisante pour le génie sanitaire. Il est essentiel de s'assurer qu'elle ne contient aucun contaminant pouvant nuire à la santé humaine et animale, ainsi que que sa composition chimique est appropriée pour une utilisation optimale (COLLIN J.J, 2004).

Tableau I. 1 : Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines (BOURRIER R., 2011).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues)	Liée surtout aux matières en solution (acide humique par exemple)
Fe et Mn divalent (à l'état dissous)	Généralement absents sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation.	Généralement présents Sensiblement
Minéralisation globale	La qualité de l'eau souterraine peut varier en fonction des caractéristiques des terrains, des niveaux de précipitations et des rejets présents dans son environnement.	Constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région

CO ₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité.
Oxygène dissous	Dans la plupart des cas, l'eau souterraine est généralement proche de la saturation. Cependant, dans le cas d'eaux fortement polluées, cette saturation peut être absent.	Absent dans la plupart du temps.
H ₂ S (Le sulfure d'hydrogène)	Généralement absent.	Souvent présent
NH ₄ (Ammonium)	Présent seulement dans eaux polluées.	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondant en général	Teneur parfois élevée.
Micropolluants minéraux et organiques	Dans les pays développés, les polluants peuvent être présents dans les eaux, mais ils ont tendance à disparaître rapidement une fois que la source de pollution est supprimée.	En règle générale, les polluants sont généralement absents dans les eaux souterraines. Cependant, en cas de pollution accidentelle, les effets peuvent subsister pendant une période beaucoup plus longue.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogénies), virus, plancton.	Ferro bactéries fréquentes.

I.6.1. Qualité physico-chimique :

Effectivement, les paramètres physico-chimiques de l'eau souterraine sont relativement faciles à déterminer et sont importants pour évaluer la qualité de l'eau. Parmi les paramètres les plus importants, on peut citer :

I.6.1.1. Température :

La précision de la mesure de la température de l'eau revêt une importance capitale, car elle a un impact significatif sur la solubilité des gaz, la dissociation des sels et la détermination du pH. Cela joue un rôle essentiel dans la compréhension de l'origine de l'eau et des éventuels mélanges qui peuvent se produire. De plus, une telle mesure est extrêmement utile dans le cadre des études limnologiques (RODIER ET ALL, 2009).

La croissance des micro-organismes est favorisée par une température élevée, ce qui peut influencer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau (OMS, 2004). En revanche, une température inférieure à 10°C a pour effet de ralentir les réactions chimiques impliquées dans les différents traitements de l'eau (RODIER ET ALL, 2009).

I.6.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH d'une eau est une mesure qui indique son niveau d'acidité ou d'alcalinité, et cela dépend de l'activité des ions hydrogène H⁺ présents dans l'eau. Différentes causes influencent cette activité dans les eaux naturelles, notamment l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels. Le pH se situe généralement entre 6,5 et 9 (JORA, 2011).

Lorsque le pH est inférieur à ce seuil, l'eau est considérée comme "agressive", ce qui peut causer la corrosion des conduites et la dissolution de métaux toxiques comme le plomb dans les conduites (SAVARY 2010, BOUZIANI 2000).

I.6.1.3. Turbidité :

La turbidité est le premier paramètre que le consommateur remarque (L, ANDRIAMIRADIS, 2005). Elle est due à la présence de matière non dissoute dans l'eau, tels que des débris organiques, des argiles ou des organismes microscopiques (RODIER ET ALL, 2009). Une forte turbidité de l'eau peut indiquer une précipitation de fer, d'aluminium ou de manganèse due à une oxydation dans le réseau (JEAN, 2002). Elle favorise également la fixation et la multiplication des micro-organismes, ce qui peut compromettre la qualité bactériologique de l'eau (OMS, 2004). En général, les eaux souterraines présentent une très faible turbidité, selon (R, DESJARDINS, 1997), (KETTAB, 1992) et (BOEGLIN, 2009).

I.6.1.4. Conductivité électrique :

La capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique est mesurée par sa conductivité électrique. De plus, elle indique la concentration totale en minéraux dans la solution : une eau douce présentera généralement une faible conductivité, tandis qu'une eau dure présentera une conductivité élevée. La conductivité est également influencée par la température de l'eau et proportionnelle à sa minéralisation (BREMAUDE C. ET ALL, 2006).

I.6.1.5. Matières en suspensions (MES) :

Les particules qui peuvent être retenues par un filtre et qui ne se dissolvent ni ne forment de colloïdes sont appelées matières en suspension. Elles peuvent limiter la pénétration de la lumière dans l'eau, réduire la concentration en oxygène dissous et empêcher le développement de la vie aquatique. La présence de matières en suspension dans une eau à une teneur de quelques milligrammes par litre ne présente généralement pas de difficultés significatives (A, HAKMI, 2006) (G, DEGREMONT, 2005).

I.6.1.6. Ion de calcium (Ca²⁺) :

Toutes les eaux naturelles contiennent du calcium. La présence de cet élément métallique alcalino-terreux est répandue dans la nature, en particulier dans les carbonates des roches calcaires. Il se présente principalement dans l'eau sous la forme d'hydrogénocarbonates, mais également parfois sous la forme de sulfates, de chlorures et d'autres composés (BENAMAR N ET ALL, 2011) (RODIER J. ET ALL, 2005).

On trouve couramment du calcium dans les roches sédimentaires, ainsi que dans les formations de gypse (CaSO₄, 2H₂O) qui sont facilement solubles. La présence de calcium dans l'eau

potable n'est pas un problème, bien que la dureté élevée puisse entraîner des dépôts de tartre à domicile (BADAOU, 2019).

I.6.1.7. Ion de magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium, en plus des ions calcium, est l'un des éléments les plus courants dans la nature et joue un rôle important dans la dureté de l'eau (RODIER J. ET ALL, 2005). Les variations de concentration de magnésium dans les eaux souterraines sont influencées par les formations géologiques environnantes, telles que les calcaires qui ont tendance à diminuer la concentration en magnésium, et les formations salifères, telles que les argiles et les marnes qui sont riches en Mg^{+2} et ont tendance à augmenter la concentration en magnésium (DIB I, 2009).

Le magnésium est abondant sur le plan géologique, très soluble dans l'eau et largement utilisé dans l'industrie, ce qui peut entraîner des concentrations importantes dans l'eau (SEVESC, 2013).

I.6.1.8. Ion de sodium (Na^+) :

En effet, des eaux contenant des niveaux élevés de sodium peuvent avoir un goût salé et désagréable, ce qui peut les rendre inacceptables pour la consommation humaine. De plus, une consommation excessive de sodium peut entraîner des problèmes de santé, tels que l'hypertension artérielle, ce qui souligne l'importance de surveiller les niveaux de sodium dans l'eau potable (BOUZIANI M, 2000).

I.6.1.9. Ion de potassium (k^+) :

Le potassium est un élément important pour l'organisme, en particulier pour l'équilibre électrolytique. Il est impliqué dans la régulation de la pression artérielle, de la fonction rénale, de la fonction musculaire et de la transmission nerveuse. Les apports alimentaires en potassium sont généralement suffisants pour couvrir les besoins de l'organisme, mais une carence en potassium peut survenir dans certaines circonstances (par exemple, en cas de régime hypokaliémique, de diarrhée chronique, de vomissements répétés, ou en cas d'utilisation excessive de certains diurétiques) (BOUZIANI M, 2000).

I.6.1.10. Ion de fer (Fe) :

Le fer est un élément métallique qui peut être assez soluble et présent dans l'eau. Il a une place importante dans la croûte terrestre, se classant en quatrième position parmi les éléments les plus abondants. Cependant, un excès de fer dans l'eau peut entraîner la formation de flaques rouges qui trouble l'eau et tache les vêtements lorsqu'il entre en contact avec l'air, car le fer se précipite par oxydation (BOUZIANI M, 2000).

I.6.1.11. Chlorures (Cl^-) :

Les ions chlorure sont fréquents dans la nature, généralement présents sous forme de sels tels que le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de potassium (KCl) et le chlorure de calcium ($CaCl_2$) (SEVESC, 2013). Ces ions sont très mobiles et ne se lient pas facilement aux autres éléments chimiques, ce qui en fait un indicateur efficace de la pollution (BADAOU, 2019). Les niveaux de

chlorure dans l'eau varient considérablement en fonction des caractéristiques géologiques des régions traversées. Cependant, une grande quantité de chlorure, en particulier de chlorure de sodium, peut donner une saveur désagréable à l'eau à partir de 250 mg/L, ce qui est un inconvénient majeur (RODIER ET ALL, 2009).

I.6.1.12. Nitrates (NO_3^-) :

La formule chimique du nitrate, un sel de l'acide nitrique, est NO_3^- . Il nécessite à la fois de l'azote (N) et de l'oxygène (O) pour sa formation. Les niveaux de nitrates dans les eaux souterraines varient de 0,1 à 1 mg/L en fonction de l'environnement, bien qu'ils soient naturellement présents dans l'eau. La quantité de matières organiques et les conditions environnementales sont liées à l'apport de nitrates dans le sol et les eaux. La présence de matières organiques et la production de nitrates peuvent également être influencées par des activités humaines telles que l'utilisation d'engrais azotés et de lisier, ainsi que par les rejets provenant de stations d'épuration, de latrines et de fosses septiques (DEMDOUM A, 2010).

I.6.1.13. Les nitrites (NO^-_2) :

Les nitrites sont relativement faibles dans le sol, l'eau et les plantes. Ils peuvent résulter d'une réduction des nitrates ou d'une oxydation incomplète de l'ammoniac. De plus, leur présence peut être causée par une gestion inadéquate des filtres à sable, des filtres à charbon actif ou des étapes de nitrification-dénitrification biologique lors du traitement de l'eau. Cependant, une eau riche en nitrites est considérée comme suspecte car cela pourrait indiquer une détérioration de la qualité microbiologique (SAVARY 2010, BOUZIANI 2000).

I.6.1.14. Les sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates présents dans l'eau proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse, ou résultent de l'oxydation des minéraux sulfureux (G,BERIERE, 2000). Un excès de sulfates dans l'eau peut causer des troubles intestinaux, selon la tolérance des consommateurs. Les concentrations autorisées sont généralement d'environ 400 mg/L (BOUZIANI M, 2000).

I.6.1.15. Le fluor (F) :

Le fluor est un élément chimique appartenant à la famille des halogènes dans le tableau périodique des éléments. À température et pression normales, il est gazeux. En raison de sa forte réactivité, il se combine généralement avec d'autres éléments pour former des composés fluorés, tels que les fluorures, qui se trouvent naturellement dans les minéraux et les matières organiques. Les activités industrielles sont également une source importante de fluorures dans l'environnement (BEAUDOIN B., 2012).

I.6.2. Qualité bactériologique :

La contamination microbiologique est le paramètre le plus important en ce qui concerne la qualité de l'eau potable. Elle est évaluée par la présence d'organismes indicateurs de pollution, tels que les germes totaux et les coliformes. Ces organismes sont généralement présents dans les intestins humains et animaux. Les bactéries les plus couramment utilisées comme indicateurs de contamination fécale comprennent *Escherichia coli* (*E. coli*), les streptocoques fécaux et les clostridium sulfito-réducteurs. Ces bactéries se multiplient facilement et servent généralement de germes tests pour évaluer la contamination fécale (AHONON A.S., 2011).

I.7. Normes de la qualité de l'eau :

Des normes ont été établies pour définir l'eau potable, qui fixent des limites de concentration pour un certain nombre de substances potentiellement dangereuses pouvant être présentes dans l'eau. Être conforme aux normes ne signifie pas que l'eau est exempte de polluants, mais simplement que leur concentration est jugée suffisamment faible pour ne pas présenter de danger pour la santé du consommateur (ALIOUANE S, 2010).

La qualité de l'eau potable est réglementée au niveau national et peut varier d'un pays ou d'une région à l'autre par rapport aux normes internationales (BOUZIANI M, 2000). En Algérie, des réglementations locales pour la qualité de l'eau potable ont été établies, qui représentent différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques avec des valeurs limites définies dans le Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2011)(voir les tableaux I.3).

Tableau I. 2 : Normes bactériologiques des eaux souterraines (OMS, 2004).

Microorganismes	Valeurs Indicatives	Remarque
A-Toutes les eaux destinées à la consommation : -E. Coli	0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
-bactéries coliformes Thermotolérantes	0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
B- Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution : E.Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml Non détectables dans un échantillon de 100 ml
C-Eaux traitées dans le réseau de distribution : E. coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml Non détectables dans un échantillon de 100 ml. Dans les installations importantes, lorsqu'un nombre suffisant d'échantillons sont examinés on ne doit pas trouver de coliformes dans 95% des

		échantillons prélevés sur une période de 12 mois
--	--	--

Tableau I.3 : Normes physico-chimique des eaux souterraines (OMS, 2004), (NA, 1992) (JORA, 2011)

Paramètres physico-chimiques	Unité	Normes OMS	Normes algériennes
Température	°C	/	25
pH	/	7-8.5	6,5 – 9
Conductivité électrique à 20°C	µS/cm	/	2800
Turbidité	NTU	5	5
Oxygène dissous	Mg/LO2	5	5
Chlorures	Mg/L	/	500
Dureté Totale	Mg/Len CaC03	500	200
Calcium	Mg/L	/	200
Magnésium	Mg/ L	/	150
Nitrates	Mg/L	50-100	50
Nitrites	Mg/L	/	0,1

I.8. La pollution des eaux souterraines :

La pollution de l'eau est aujourd'hui considérée comme l'un des principaux problèmes environnementaux, car l'eau est l'interface entre l'air et le sol, ce qui la rend vulnérable aux dégradations de ces deux milieux (BOUZIANI M, 2000). Une eau est considérée comme polluée lorsque son équilibre est durablement altéré par une quantité importante de substances toxiques, d'origine naturelle ou humaine (RODIER J. ET ALL, 2005).

I.8.1. Les différents critères de pollution des eaux souterraines :

La qualité des eaux souterraines est influencée et altérée par la nature des sols ainsi que les activités humaines menées sur un territoire. Les sources de pollution de cette ressource peuvent ainsi être d'origine naturelle ou anthropique (SALIM, 2014).

Les pollutions peuvent être classées selon plusieurs critères, tels que leur origine, leur nature ou leur impact sur la qualité de l'eau. Voici quelques exemples :

I.8.1.1. Selon leur origine :

I.8.1.1.1. Pollution naturelle :

Causede par des processus géologiques, chimiques ou biologiques naturels.

I.8.1.1.2. Pollution anthropique :

Causede par les activités humaines, telles que l'agriculture, l'industrie, les transports, etc.

I.8.1.2. Selon leur nature : (SOUTERRAINES, 2018). (L'EAU, 2019.)

I.8.1.2.1. Pollution chimique :

Causede par la présence de substances chimiques dans l'eau, telles que les métaux lourds, les pesticides, les produits pharmaceutiques, etc.

I.8.1.2.2. Pollution microbiologique : causée par la présence de micro-organismes pathogènes, tels que les bactéries, les virus ou les parasites.

I.8.1.2.3. Pollution thermique : causée par un rejet d'eau chaude dans un cours d'eau ou une nappe phréatique.

I.8.1.3. Selon leur impact sur la qualité de l'eau :

I.8.1.3.1. Pollution ponctuelle : causée par un rejet localisé et identifiable, tel qu'une fuite de produit chimique dans une usine.

I.8.1.3.2. Pollution diffuse : causée par une multitude de sources diffuses, telles que l'agriculture, les routes ou les villes.

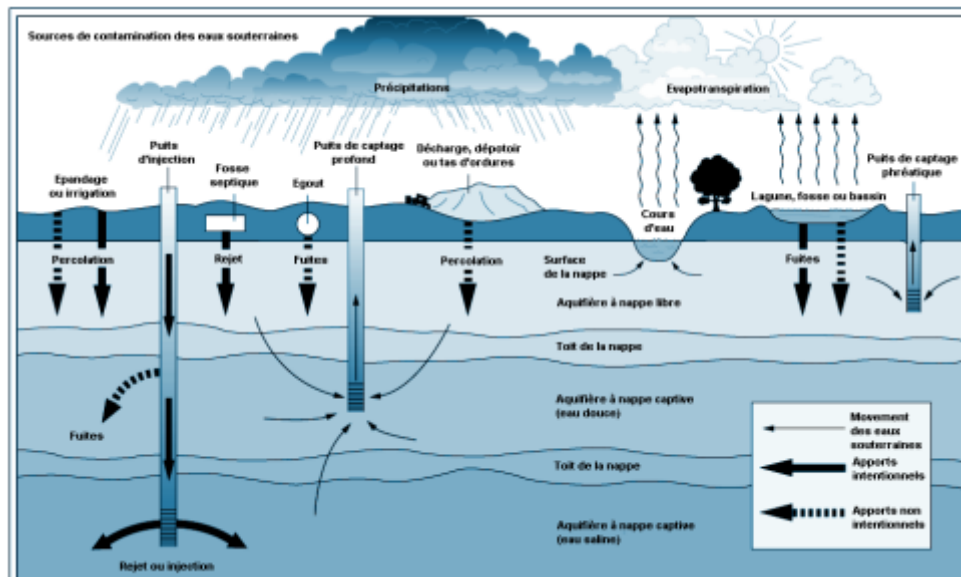


Figure I. 5 : Différentes sources de pollution pouvant affecter les eaux souterraines (JERRY S ET Y. MAYSTRE).

I.9. Transfert des polluants dans les eaux souterraines :

Le transfert de polluants dans les eaux souterraines est un processus complexe qui dépend de nombreux facteurs tels que les propriétés des polluants, les caractéristiques du sol et de la roche, les conditions hydrologiques et les activités humaines.

Lorsqu'un polluant est introduit dans le sol, il peut se déplacer vers les eaux souterraines de plusieurs manières. Les polluants peuvent se déplacer avec l'eau souterraine à travers les pores du sol ou les fractures de la roche, ou ils peuvent être adsorbés sur les particules du sol ou de la roche et se déplacer avec celles-ci. Le mouvement des polluants dans les eaux souterraines dépend également de la direction et de la vitesse de l'écoulement de l'eau souterraine.

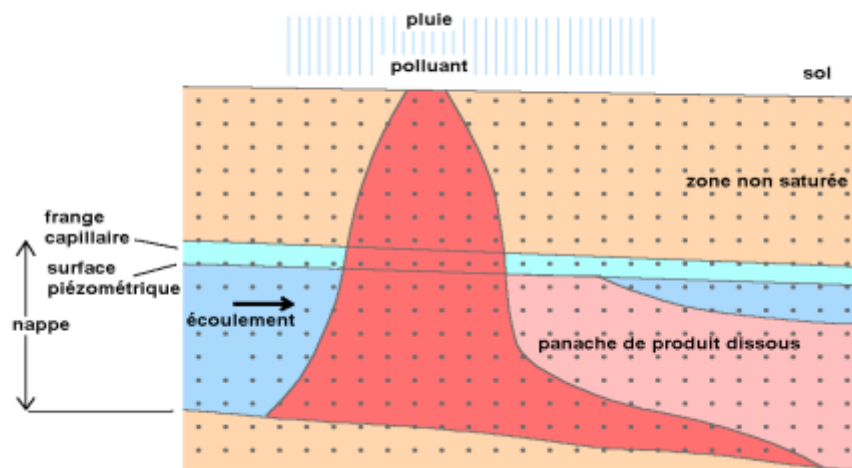


Figure I. 6 : schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique (SALIM, 2014).

I.10. Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines :

Les polluants ne sont généralement pas directement déversés dans les nappes souterraines, mais sont plutôt transférés depuis la surface à travers une série de processus physiques, chimiques et biologiques. Ces processus varient en nature et en ampleur selon les différentes composantes d'un système aquifère. Les principaux processus qui régissent le transfert des éléments comprennent la convection, la dispersion, les interactions avec la phase solide et la dégradation. Les caractéristiques des polluants, les propriétés des milieux traversés, les interactions entre les polluants et le milieu, ainsi que les conditions climatiques, sont autant de facteurs qui influencent ces différents processus de migration des polluants (ALL, AMALRIC , 2003).

I.11. Vulnérabilité des eaux souterraines :

Les aquifères en nappe libre sont souvent moins protégés contre la pollution que les aquifères en nappe captive car ils ne sont pas recouverts par une couche imperméable. En outre, la porosité du sol et les caractéristiques hydrogéologiques peuvent influencer la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Les sols minces et hautement perméables sont particulièrement vulnérables car ils peuvent permettre une infiltration directe de polluants dans les eaux souterraines. Les aquifères sableux sont également vulnérables en raison de leur porosité, qui facilite l'infiltration des eaux de surface. En somme, la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dépend de plusieurs facteurs géologiques, hydrologiques et anthropiques qui influencent les processus de transfert des polluants depuis la surface du sol jusqu'aux nappes souterraines. (TOURAB H, 2013)

1. La vulnérabilité d'une nappe désigne la facilité avec laquelle elle peut être polluée à partir de la surface du sol.

2. Plusieurs paramètres jouent un rôle dans le transfert vertical de la pollution depuis la surface du sol, notamment :

- Le processus de recharge de la nappe (par les précipitations, les cours d'eau, l'infiltration des eaux d'irrigation, etc.).
- La nature et l'épaisseur du sol.
- Les caractéristiques de la zone non saturée (lithologie, perméabilité, etc.).
- La profondeur de l'eau par rapport au sol.
- En plus des facteurs géologiques, d'autres critères naturels et anthropiques sont également importants, tels que :
 - La croissance démographique et la densité de population.
 - Des taux d'évaporation élevés et des précipitations faibles.
 - Les catastrophes naturelles telles que les inondations et la sécheresse.
 - L'expansion industrielle.
 - L'expansion agricole et touristique. (TOURAB H, 2013).

I.12. Datation des eaux souterraines :

La datation des eaux souterraines est un processus qui permet de déterminer l'âge de l'eau souterraine. Les méthodes de datation sont basées sur la mesure de la concentration de différents isotopes présents dans l'eau souterraine.

La méthode la plus courante pour dater les eaux souterraines est la datation par le carbone 14 (C-14). Le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone qui se forme naturellement dans l'atmosphère par l'action des rayons cosmiques. Il est absorbé par les plantes et les animaux, et se retrouve ainsi dans l'eau souterraine. En mesurant la concentration de carbone 14 dans l'eau souterraine, on peut déterminer son âge.

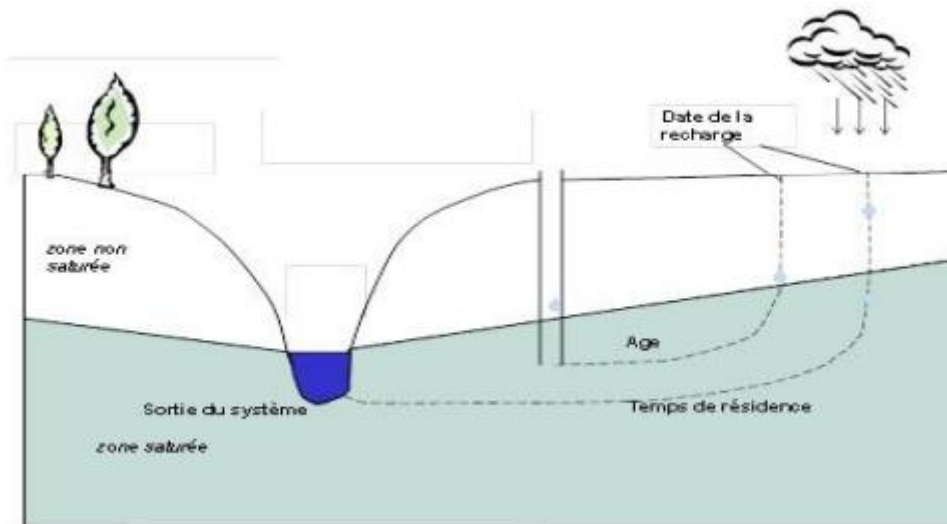


Figure I. 7 : Temps de résidence et âges des eaux souterraines (BADAOU, 2019).

I.13. Traitement des eaux souterraines :

Le traitement des eaux souterraines peut être nécessaire pour éliminer les contaminants ou pour améliorer la qualité de l'eau afin de la rendre potable. Voici quelques étapes typiques dans le traitement des eaux souterraines :

I.13.1. Prétraitement :

Cette étape implique l'élimination des particules en suspension et des matières en suspension de l'eau brute. Les méthodes courantes comprennent la filtration et la décantation (TREATMENT, WATER, 2012) (WASTEWATER, 2011).

I.13.2. Traitement de désinfection :

Cette étape vise à éliminer les microorganismes pathogènes de l'eau. Les méthodes courantes comprennent l'utilisation de chlore, de rayons UV ou d'ozone (TREATMENT, WATER, 2012) (DRINAN, 2013).

I.13.3. Traitement chimique :

Cette étape implique l'utilisation de produits chimiques pour éliminer les contaminants chimiques de l'eau. Les méthodes courantes comprennent la coagulation, la floculation et la précipitation (TREATMENT, WATER, 2012) (WASTEWATER, 2011).

I.13.4. Traitement biologique :

Cette étape implique l'utilisation de micro-organismes pour éliminer les contaminants organiques de l'eau. Les méthodes courantes comprennent la biofiltration, la bioremédiation et les réacteurs biologiques (TREATMENT B. W., 2007) (TREATMENT W. A., 2008).

I.13.5. Adsorption :

Cette étape implique l'utilisation de matériaux adsorbants pour éliminer les contaminants organiques de l'eau. Les matériaux couramment utilisés comprennent le charbon actif, la zéolite et les résines échangeuses d'ions (DRINAN, 2013) (ADSORPTION, 2019).

I.13.6. Osmose inverse :

Cette étape implique l'utilisation d'une membrane semi-perméable pour éliminer les sels et les ions de l'eau. L'eau passe à travers la membrane et les ions et les sels sont rejetés (DRINAN, 2013) (TREATMENT, WATER, 2012).

I.14. Les méthodes et moyens d'analyse des eaux souterraines en Algérie :

Sont similaires à ceux utilisés dans d'autres pays. Voici quelques-uns des moyens et méthodes couramment utilisés en Algérie pour l'analyse des eaux souterraines :

I.14.1. Prélèvement d'échantillons : Le prélèvement d'échantillons doit être effectué de manière représentative pour éviter toute contamination de l'échantillon. En Algérie, l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) est l'organisme responsable de la surveillance de la qualité des eaux souterraines.

I.14.2. Mesure du pH et de la conductivité : Comme mentionné précédemment, la mesure du pH et de la conductivité est importante pour déterminer l'acidité, la basicité et la quantité d'ions dans l'eau. Les tests de pH et de conductivité sont largement utilisés en Algérie.

I.14.3. Analyse des métaux et des nutriments : Des tests chimiques spécifiques sont utilisés pour détecter la présence de métaux tels que le fer, le manganèse, le calcium, le magnésium, le nitrate et le phosphate. Les laboratoires d'analyse en Algérie peuvent effectuer ces tests.

I.14.4. Analyse microbiologique : Les tests microbiologiques sont utilisés pour détecter la présence de bactéries et de virus dans l'eau souterraine. Des tests tels que les tests de coliformes fécaux et de la bactérie *Escherichia coli* sont couramment utilisés en Algérie.

I.14.5. Analyse isotopique : L'analyse isotopique peut être utilisée pour déterminer l'origine de l'eau souterraine et pour détecter les changements dans les caractéristiques de l'eau souterraine. Cette méthode est également utilisée en Algérie.

I.14.6. Évaluation de la stabilité chimique : Les tests d'évaluation de la stabilité chimique sont utilisés pour déterminer si l'eau souterraine est susceptible de causer une corrosion ou une incrustation dans les canalisations. Cette méthode est également utilisée en Algérie.

Il est important de noter que les normes et réglementations de l'analyse des eaux souterraines en Algérie sont définies par l'ANRH et sont conformes aux normes internationales. Les laboratoires d'analyse accrédités peuvent effectuer des tests conformément à ces normes et réglementations.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons pu connaître certains détails sur les eaux souterraines tels que : comment on les trouve dans les aquifère et les nappes, ainsi que les techniques de mesure et les techniques de traitement des eaux souterraines.

Chapitre II :
PRESENTATION DE LA REGION
DE CHLEF



II.1. Introduction :

Située dans la partie occidentale de l'Algérie centrale, la wilaya de Chlef se trouve à une distance équivalente d'Oran et d'Alge, à environ 200 km de chaque ville (certaines communes du nord-ouest de la wilaya de Chlef peuvent se trouver à plus de 300 km). Elle couvre une superficie de 4 074 (4 791) km². Au nord, elle est bordée par la Méditerranée, au sud par la wilaya de Tissemsilt, à l'ouest par les wilayas de Relizane et Mostaganem, et à l'est par les wilayas de Tipaza et Ain Defla.

En termes géographiques, Chlef se trouve à une longitude de $x_1 = 0,691852002^\circ$ et à une latitude de $y_1 = 35,85094500^\circ$. Sa superficie totale est de 4077 km².



Figure II. 1 : Localisation de wilaya de Chlef.

II.2. Organisation administrative de la wilaya de Chlef :

La wilaya de Chlef est composée de treize (13) Daïras et de trente-cinq (35) communes.



Figure II. 2 : Limites administratives de wilaya de Chlef.

Tableau II. 1 : Découpage administratif de la wilaya de Chlef (DCW, s.d.).

DAIRAS	COMMUNES
Chlef	Chlef-Oum Drou -Sendjas
Oued Fodda	Oued Fodda-Ouled Abbes -Beni Rached
El Karimia	Harchoun -El Karimia -Beni Bouattek
Zeboudja	Zeboudja -Bouzghaia -Benairia
Ouled Fares	Chettia-Ouled Fares-LabiadhMedjadja
Boukader	Boukader-Sobha -Oued Sly
Ouled Ben Aek	El Hadjadj- Ouled Ben aek
Ain Merane	Herenfa - Ain Merane
Taugrit	Taugrit -Dahra
Ténès	Ténès -Sidi Akkacha -Sidi Abderrahmane
Abou el Hassen	Abou el Hassen-Tadjena -Talassa
El Marsa	El Marsa-Moussadek
Beni Haoua	Beni Haoua-Oued Goussine -Breira

II.3. RELIEF

Le relief de la wilaya de Chlef se compose de quatre ensembles géographiques distincts (CHLEF.A.B.H., 2004) :

- La côte méditerranéenne : La wilaya de Chlef s'étend le long de la côte méditerranéenne sur une distance d'environ 120 km.
- Les monts de l'Ouarsenis : Au sud de la wilaya se trouvent les monts de l'Ouarsenis, une chaîne de montagnes qui s'étend sur une partie de l'Atlas tellien.

- La chaîne de la Dahra : Au nord de la wilaya, on trouve la chaîne de la Dahra, une série de montagnes et de collines. Cette chaîne montagneuse présente des altitudes variables.
- La plaine du Cheliff : Entre la chaîne de la Dahra et les monts de l'Ouarsenis se trouve la plaine du Cheliff. Cette plaine est caractérisée par des terres agricoles fertiles et de vastes étendues planes propices à l'agriculture.

II.4. Situation géographique de la zone d'étude :

Située au centre-ouest de l'Algérie du nord, la zone hydrographique Chlef-Zahrez comprend trois bassins hydrographiques distincts : le bassin côtier de Dahra, le Chélif et le Zahrez. Le bassin du Chélif, le plus grand de la région, couvre une superficie de 43 750 km². Le barrage de Boughzoul se compose de trois sous-bassins : le bassin amont, le haut et le moyen Chélif, le bas Chélif et la Mina.

La vallée du Chélif, qui est traversée par l'oued Chlef, est située dans la partie nord du bassin versant du Chélif, qui couvre 22 % de la superficie de l'Algérie du Nord. Trois plaines distinctes constituent cette vallée : la plaine du Haut-Chélif, la plaine du Moyen-Chélif et la plaine du Bas-Chélif. Ces plaines sont cruciales pour la gestion des ressources en eau et l'activité agricole de la région (CHLEF.A.B.H., 2004).

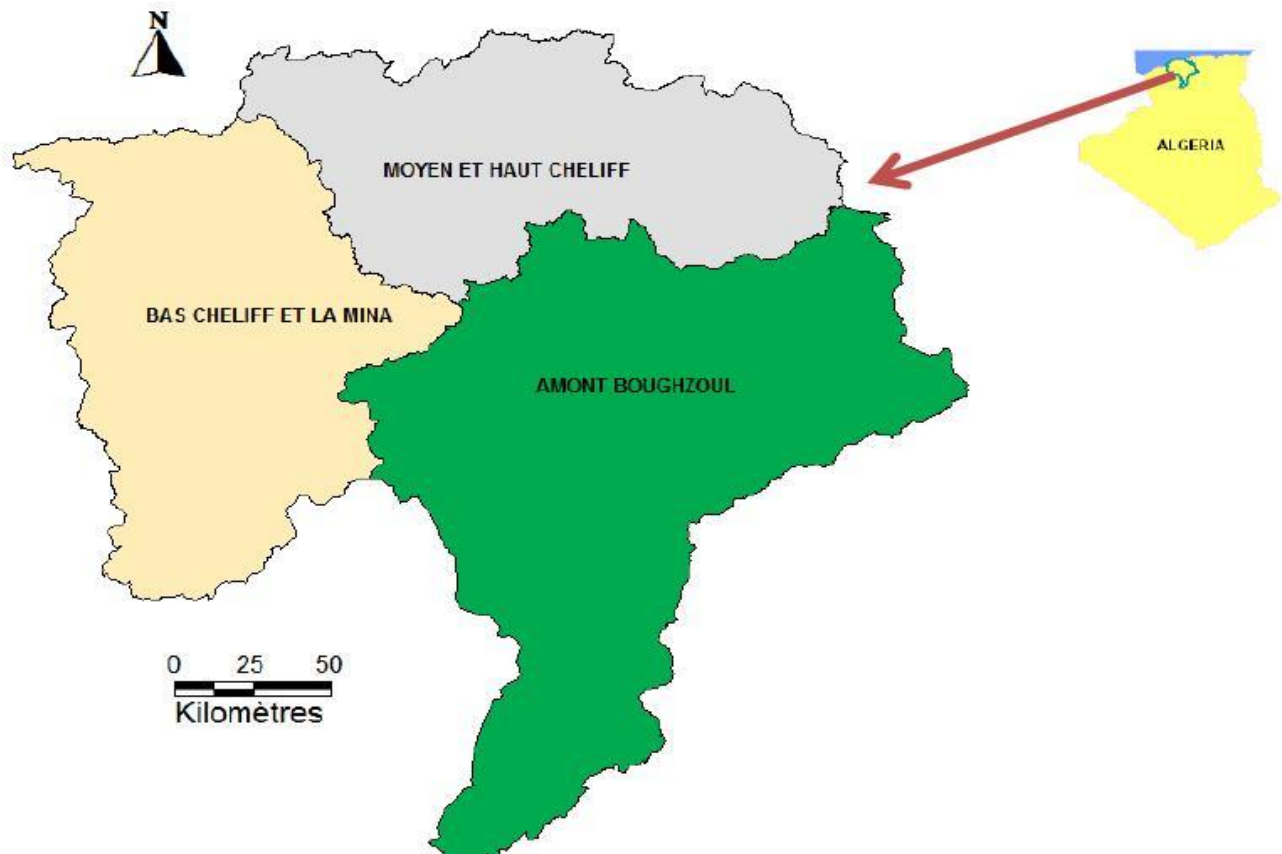


Figure II. 3 : Présentation de la zone d'étude

Située à 120 km au sud-ouest d'Alger, en Algérie, la plaine alluviale du Haut-Chélif, également connue sous le nom de plaine d'El-Khemis, est située dans la région. Elle couvre 21 035

km². Au sud, les contreforts de l'Ouarsenis entourent la plaine, tandis que le massif de Doui se trouve à l'ouest et le Djebel Gontas se trouve à l'est. Elle a une pente comparativement faible d'environ 15%.

Les coordonnées géographiques suivantes établissent les limites de la plaine : La latitude nord de Bir-Ouled Khelifa et Miliana se situe entre 36°12' et 36°17', tandis que la longitude est comprise entre les montagnes de Doui et Gontas. Les coordonnées géographiques suivantes établissent les limites de la plaine : La latitude nord de Bir-Ouled Khelifa et Miliana se situe entre 36°12' et 36°17', tandis que la longitude est comprise entre les montagnes de Doui et Gontas (CHLEF.A.B.H., 2004).

Située au cœur du bassin du Chélif, la plaine du Moyen-Chélif se trouve à 200 km à l'Ouest d'Alger et à 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée. Elle est bordée par les montagnes de Medjadja au Nord, le seuil d'Oum Drou (Pontéba) à l'Est, les montagnes de l'Ouarsenis au Sud et le seuil de Boukadir à l'Ouest (CHLEF.A.B.H., 2004).

Située dans le nord-ouest de l'Algérie, la plaine du Bas-Chélif se trouve à l'extrémité nord du bassin du Chélif. Elle est située à une distance d'environ 250 kilomètres à l'ouest d'Alger et à une distance de 35 kilomètres à vol d'oiseau de la mer Méditerranée. Située dans la wilaya de Relizane, la ville d'Oued Rhiou se trouve au cœur de la plaine. Elle est limitée par le massif du Moyen-Chélif à l'Est, le massif de la Mina à l'Ouest, le massif du Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au Sud. Elle est située entre 0° 40' et 1° 6' 8" en longitude est et 34° 3' 12" et 36° 5' 57" en latitude nord (CHLEF.A.B.H., 2004).

II.5. Géologie :

Le bassin sédimentaire de Chélif s'étend d'est en ouest. Il est apparu suite à la dernière phase de la tectonique tangentielle alpine. Au nord, le Tell septentrional, une série de reliefs parallèles constitués principalement de terrains jurassico-crétacés, sépare le bassin de la mer. Les zones similaires sont présentes dans la plaine, en particulier dans les massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, de Rouina et de Témoulga. Ces mêmes terrains se retrouvent également dans la plaine, notamment dans les massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, de Rouina et de Témoulga (CHLEF.A.B.H., 2004).

Au sud, le Tell méridional, un ensemble de massifs montagneux principalement constitués de substratum marno-calcaire, correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes, La géologie de la région a été fortement influencée par les phases tectoniques. Les plis NE-SW ont été créés par une phase compressive infra-crétacée, tandis qu'une phase à composante tangentielle est intervenue après le Sénonien et le Paléocène, ce qui a en partie contribué à l'épimétamorphisme. Un nouvel épimétamorphisme a été généré par une phase compressive et profonde datée d'Aquitano-Burdigalienne. (CHLEF.A.B.H., 2004).

Un nouveau cycle sédimentaire a commencé alors que les nappes telliennes se mettaient en place, marqué par une transgression qui a envahi le bassin et a fini par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quadernaire. Pendant tout le Néogène, le bassin de Chélif a été soumis à une importante tectonique, principalement distensive pour certains auteurs et polyphasée pour

d'autres. L'activité sismique intense de la région indique que cette tectonique persiste encore aujourd'hui. (CHLEF.A.B.H., 2004) (BOUZADA, 2013)

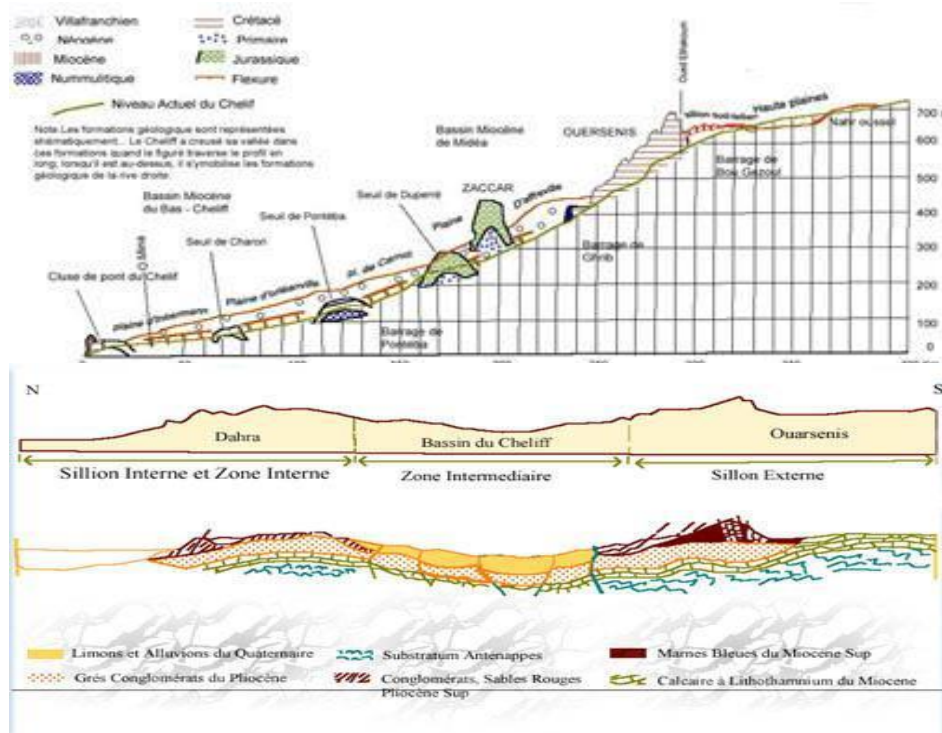


Figure II.4 : Coupes géologiques dans le bassin de Chélif (BOULAINÉ, 1956).

II.6. Climatologie :

Le climat des plaines du Chélif se distingue par sa dureté malgré la proximité de la mer (environ 50 km), et est souvent décrit comme étant de type continental semi-aride. Cette région est célèbre pour sa chaleur estivale, qui est nettement plus élevée que dans les régions avoisinantes, et qui lui vaut le surnom de "four du tell" ou de "portion de Sahara égarée dans le tell" (Yacono, 1955). Outre cette caractéristique notable, le climat Chélifien est également marqué par des hivers froids et des niveaux de sécheresse élevés, ce qui en fait un ensemble de conditions climatiques particulières qui ont été citées comme une curiosité météorologique. Des chercheurs ont même qualifié ce climat de "curiosité météorologique" en raison de ces particularités (RQTA, 2010).

II.7. Vents:

Dans certains biotopes, le vent constitue un facteur écologique limitant pour la végétation en raison de son influence sur les vents violents qui entravent son développement. Le vent peut également avoir une action indirecte en abaissant ou en augmentant la température, et en augmentant la vitesse d'évaporation, ce qui peut entraîner un dessèchement du milieu. De plus, la direction du vent peut modifier le milieu, en raison de la variation de l'arrosage de certains versants

par rapport à d'autres, ce qui affecte le couvert végétal. D'après les données de l'ONM, la vitesse annuelle moyenne du vent est de 2,86 m/s (2,58 à 3,23 m/s) tout au long de l'année, avec des vents dominants provenant de l'ouest et du nord-ouest dans la région (BOUZADA, 2013).

Tableau II. 2 : Moyennes mensuelles du Vitesses vent (1999-2010) (ONM, 2011).

Mois	Jan	Fève	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Vitesse (m/s)	2,58	2,73	2,85	3,01	3,22	3,23	2,92	2,88	2,88	2,56	2,58	2,69	2,86

II.8. Ensoleillement :

La durée d'ensoleillement varie considérablement tout au long de l'année, comme l'illustre le tableau. De mars à octobre, cette durée est particulièrement importante, favorisant l'évaporation et entraînant un dessèchement accru pendant cette période. Le mois d'août est le mois le plus ensoleillé, avec une durée de 316,9 heures par mois, tandis que la durée d'ensoleillement la moins importante est en décembre, avec seulement 160,8 heures par mois (BOUZADA, 2013).

Tableau II. 3 : Ensoleillement moyen mensuel (1999-2010) (ONM, 2011).

Mois	Janf	Févr	Mars	Avrl	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Octp	Novm	Décm
Ensoleillement (h/mois)	171,4	198	236,3	248,7	289,3	309,5	315	316,9	269,5	238,4	178,8	160,8

II.9. Évaporation :

La quantité moyenne mensuelle d'eau évaporée varie selon le mois, mais est très importante d'avril à octobre, selon les données existantes (Tableau II.4) (BOUZADA, 2013).

Tableau II. 4 : Évaporations moyennes mensuelles (1996-2010) (ONM, 2011).

Mois	Janf	Févr	Mar	Avrl	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation (mm)	52,86	62,28	93,60	113,87	169,90	250,19	294,08	271,53	189,02	174,78	74,81	55,96

II.10. Gelées :

Durant toute la saison froide, 13 jours de gelées sont enregistrés, avec un pic en décembre et janvier, ce qui démontre une forte influence de l'altitude sur celles-ci (ANRH).

II.11. Pluviométrie :

L'ANRH gère les relevés de la pluviométrie grâce à son réseau de plusieurs stations implantées et gérées. Nous avons choisi six stations situées dans toute la plaine de Chélif, mentionnées dans le tableau II.5, car tout dépend de la disponibilité et de la continuité des données. Dans ce graphique, on peut voir les informations sur la pluviométrie pour moyenne annuelle de 34 ans (1968/2001) (ANRH). Deux stations représentent chaque plaine du Chélif (Haut, Moyen et Bas). Modifiez le nom de la phrase tout en maintenant le même sens. (CHLEF.A.B.H., 2004).

Tableau II. 5 : Données pluviométriques année 2001/2002 et moyennes Interannuelles (1968-2001), d'après (CHLEF.A.B.H., 2004) (BOUZADA, 2013).

Stations Mois	Haut-Chélif		Moyen-Chélif		Bas-Chélif	
	Ain Defla	El khmis	LarebtOu ledFares	Chlef DDA	El hmadna INRA	Djidiou ia
Septembre	25,7	44,4	31,1	16,3	13,4	16,1
Octobre	4,3	45,2	3,2	3,4	9,5	4,8
Novembre	105,2	77	134,4	97,6	128,7	123,5
Décembre	31,6	32,7	33,2	32,7	36,3	25,3
Janvier	15,3	25,9	17,3	15,2	5,3	6,6
Février	14	12,8	13,3	5,2	0,0	0,0
Mars	50,4	28	49,7	33,7	53,5	51,6
Avril	37,7	26,4	51,6	39,9	33,5	34,7
Mai	27,9	38,3	34,8	27,2	42,9	42,1
Juin	0,0	0,4	3,0	0,0	0,0	0,0
Juillet	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Août	14,6	14,9	7,9	8,2	6,6	4,6
Total (mm) (2001- 2002)	326,7	347,1	379,5	279, 4	329,7	309,3
Moyenne interannuelle (1968-2001) (mm)	436	424	375	355	279	325

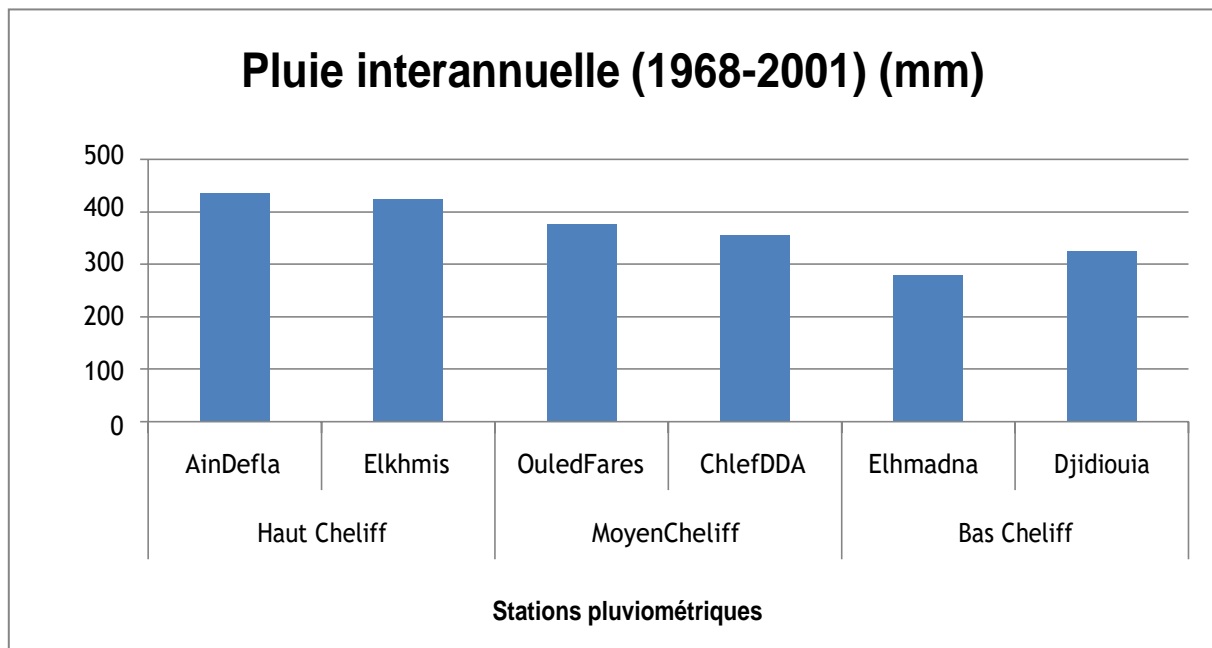


Figure II. 5 : Pluie interannuelle (1968-2001).

II .12. Température :

Les données des relevés de température entre 1975 et 2007 des stations de Khemis Miliana, ONM Chlef et H'madna, appartenant à l'ONM, ont été analysées. Il a été observé que le régime thermique de la plaine de Chlef présente une variation significative, allant de 21,26°C (station ONM Chlef, située dans le Moyen-Chélif) à 17,99°C (station de Khemis, située dans le Haut-Chélif). Ces différences témoignent d'un écart thermique relativement important.

En général, les températures dans la plaine sont élevées en été et basses en hiver. Les mois de juillet et août enregistrent les valeurs les plus élevées, atteignant en moyenne 39,2°C dans la plaine du Moyen-Chélif. Cela entraîne une forte évaporation, ce qui conduit à une concentration des eaux de la nappe en été.

Les températures les plus basses sont observées en janvier, avec une température moyenne minimale de 9,47°C enregistrée dans le Haut-Chélif (BOUZADA, 2013).

Tableau II. 6 : Températures moyennes mensuelles et pluies mensuelles (période 1975 à 2006) d'après (ONM, 2011) (BOUZADA, 2013).

Stations Mois	Haut-Chélif Khemis Miliana		Moyen-Chélif ONMChlef		Bas-Chélif H'madna	
	T moy (°C)	P (mm)	T moy (°C)	P (mm)	T moy (°C)	P (mm)
Janvier	9,47	55,15	10,5	42,78	12	33,25
Février	10,4	55,56	11,8	44,09	14	32,1
Mars	13,02	46,05	14,3	38,62	17	26,36
Avril	14,88	35,96	17	35,52	21	23,62
Mai	19,48	25,92	21,5	26,66	25	16,35
Juin	24,56	9,23	27,2	6,28	29	2,74
Juillet	27,87	3,96	39,2	2,44	30	0,86
Août	28,34	3,37	38,4	4,14	25	1,8
Septembre	24,11	23,03	26,4	17,59	20	15,51
Octobre	19,4	32,02	21,2	35,89	15	20,3
Novembre	13,87	50,07	15,7	54,82	12	35,52
Décembre	10,49	55,17	11,9	47,03	12	30,12
Moyenne annuelle	17,99	395,49	21,26	355,86	19,33	238,53

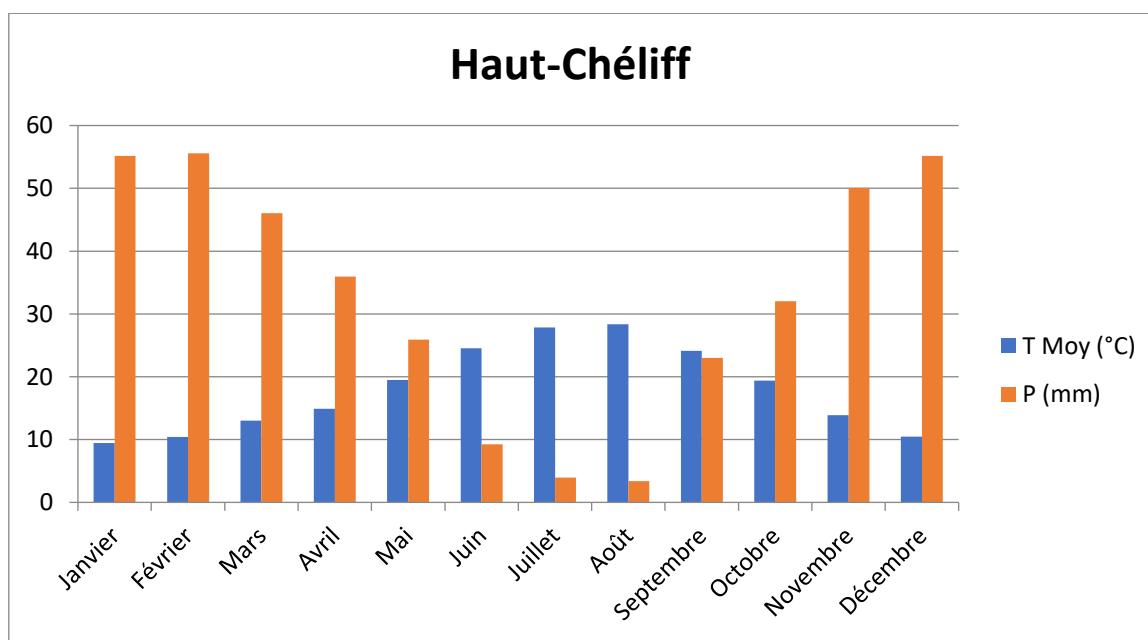


Figure II. 6 : Moyenne annuelle de Températures et pluies (Haut-Chélif).

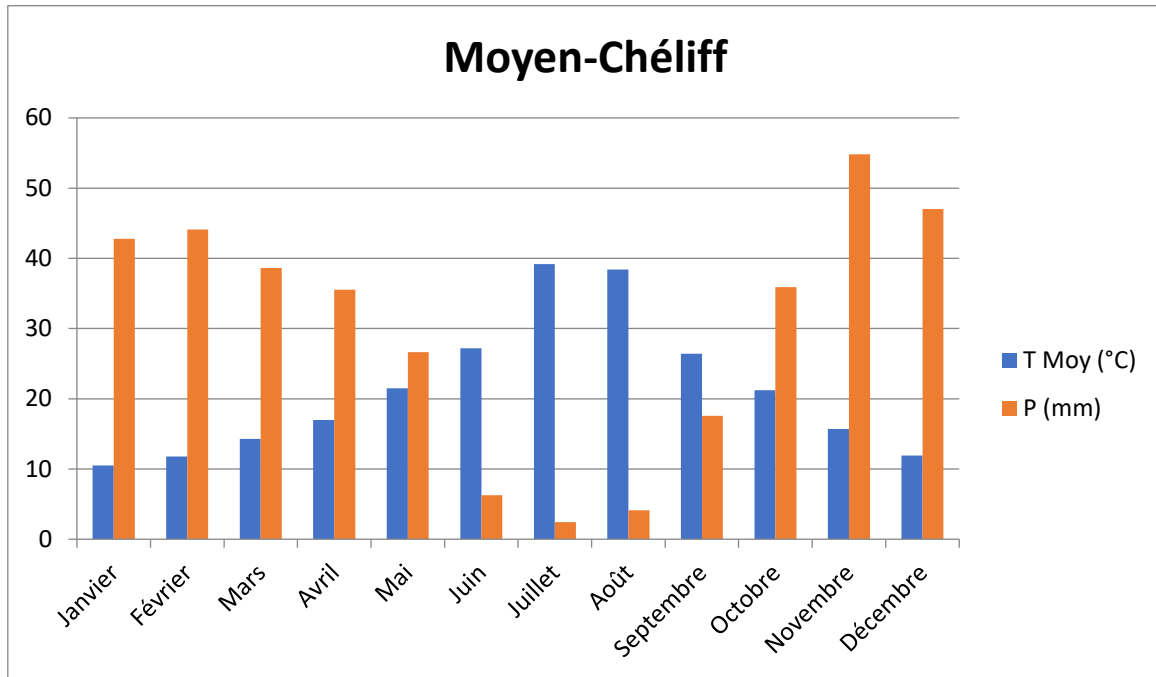


Figure II. 7 : Moyenne annuelle de Températures et pluies (Moyen-Chélif).

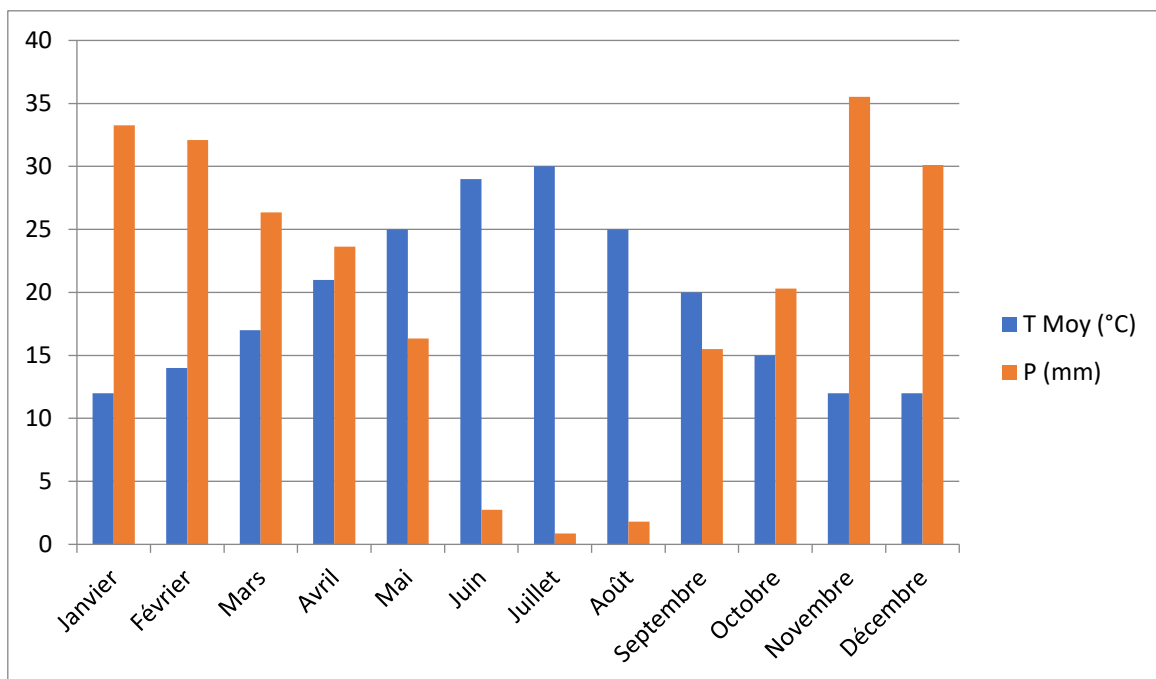


Figure II. 8 : Moyenne annuelle de Températures et pluies (Bas-Chélif H'madna).

II.13. Hydrogéologie :

II.13.1 Haut Chélif :

Grâce aux caractéristiques lithologiques des formations géologiques observées dans le Haut-Chélif, il est possible de distinguer deux ensembles aquifères distincts :

II.13.1. Les calcaires Jurassiques :

Dans la région sud d'Ain Defla, on trouve une couche géologique de calcaires jurassiques d'une épaisseur d'environ 100 mètres. Ces calcaires présentent une perméabilité des fractures élevée et affichent une bonne résistivité de 100 Ohm.m, comme indiqué par les sondages électriques effectués. Ils ont un pendage vers le nord, en direction de l'oued Chlef, et sont recouverts par des dépôts tertiaires et quaternaires.

Cependant, il convient de noter que l'étendue de cette couche calcaire est limitée, ce qui restreint sa capacité à stocker de grandes quantités d'eau. Bien qu'un forage réussi ait été effectué dans les calcaires de Koudiet Zelia, avec un débit de 54 litres par seconde et une eau douce contenant 400 mg/l de minéraux dissous, plusieurs forages ultérieurs réalisés dans le massif de Doui ont traversé les séries primaires et se sont avérés être des échecs. En conséquence, la ressource totale en eau exploitable dans cette région est considérée comme très faible en raison de l'extension limitée des calcaires (BOUZADA, 2013).

II.13.2. La nappe du Mio-plio-Quaternaire :

En raison des connexions entre les formations géologiques du Mio-Pliocène et du Quaternaire, ces dernières sont regroupées sous le terme de nappe du Mio-Plio-Quaternaire. Dans la région de Bir Roumaria et Kherba, on observe l'affleurement du grès-sable du Mio-Pliocène, dont l'épaisseur ne dépasse pas 60 mètres. Les sables présentent une porosité d'interstices, tandis que les grès présentent une porosité de fracture.

Le Quaternaire, quant à lui, couvre l'ensemble de la plaine à l'exception de la zone formée par les schistes au nord de Ain Defla. Les alluvions du Quaternaire se composent de matériaux grossiers, ainsi que d'argile et de limon, et leur épaisseur varie de 15 à 50 mètres. Ces alluvions sont présentes des deux côtés de l'oued Chlef (BOUZADA, 2013).

II.13.2.1. Description de l'aquifère :

Il semble donc y avoir une connexion hydraulique entre la nappe du Mio-pliocène et du Quaternaire du Moyen-Chélif et celle du Haut-Chélif, via la plaine d'El Khemis. Cette connexion permet une alimentation de la nappe du Haut-Chélif en eau venant de la partie amont de la plaine du Moyen-Chélif. La présence d'une concentration d'eau au sud d'El Kherba peut indiquer la présence d'une zone de recharge importante pour la nappe, où l'eau pénètre plus facilement dans l'aquifère (SOFRECO, 2010).

II.13.3. Ressources exploitables :

D'après D. Pradines (SOFRECO, 2010), une évaluation des potentialités de la nappe du Haut-Chélif, y compris la plaine d'El Khemis, a été réalisée. En prenant en compte la pluviométrie,

l'évaporation potentielle et le ruissellement, il a estimé que la recharge moyenne annuelle s'élève à 500 litres par seconde, ce qui équivaut à 15,8 millions de mètres cubes par an.

En ce qui concerne les ressources en eau du Massif de Doui, le même auteur estime qu'elles sont d'environ 2,3 millions de mètres cubes par an (SOFRECO, 2010).

II.14. Moyen Chélif :

Il y a trois aquifères importants dans le Moyen-Chélif, qui sont plus ou moins indépendants les uns des autres.

II.14.1. La nappe alluviale :

II.14.1.1. Description de l'aquifère :

Les alluvions grossières du Quaternaire sont la principale composante de la nappe alluviale du Moyen-Chélif, qui se prolonge jusqu'au Haut-Chélif. Une grande partie de la plaine est recouverte de limons argileux grisâtres situés dans la partie supérieure. Le Moyen-Chélif et le Haut-Chélif ont des alluvions d'une épaisseur moyenne de 80 à 90 mètres. Cependant, il est important de noter que le forage d'El Abadia a révélé une épaisseur de 130 mètres, ce qui en fait la plus grande épaisseur connue dans le Haut et le Moyen-Chélif. (BOUZADA, 2013).

II.14.2. La nappe des calcaires à Lithothamniées

II.14.2.1. Description de l'aquifère

Les calcaires à lithothamniées forment une bande continue d'environ 65 km de long le long de la rive gauche de l'oued Chélif, depuis Oued Fodda jusqu'à Djidiouia. Leur largeur varie entre 2,5 km au nord-est et 4 km au nord-ouest. Ces calcaires sont datés du Miocène supérieur (Tortonien) et plongent vers le nord sous les dépôts plus récents du Pliocène et du Quaternaire. Latéralement, ils passent à des grès calcaires fossilifères, notamment sur la rive gauche de l'oued Djidiouia et sur la rive droite de l'oued Fodda. Des forages réalisés par les pétroliers (Kh5 et Kh6) ont révélé une épaisseur maximale de 160 à 200 m dans la région de Boukadir, tandis qu'un forage hydraulique effectué dans les années 1980 près de Chlef a montré une épaisseur de 68 m pour ces calcaires, qui atteignent 80 m d'épaisseur à Oued Sly (BOUZADA, 2013).

II.14.3. Les grès astiens :

II.14.3.1. Description de l'aquifère :

Les grès astiens sont bien développés au nord-est de Chlef et sont constitués de sables très fins renfermant des grès fins à ciment calcaire. Il y a deux couches distinctes de la nappe de l'Astien : une couverture libre qui couvre le flanc sud du Djebel Hamri et une couverture captivée. Cette nappe a une faible superficie par rapport aux autres aquifères de la région. (SOFRECO, 2010) (BOUZADA, 2013).

II.15. Bas Chélif :

Les principaux aquifères du Bas-Chélif sont :

II.15.1. Le Miocène calcaire :

La limite sud de la plaine est longée par l'affleurement. Les descriptions lithologiques ont révélé l'existence de zones de fracture productives situées entre 37 et 60 mètres de profondeur (BOUZADA, 2013)

II.15.2. Le Pliocène marin :

Au nord de la plaine, on trouve une succession d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès en affleurement. Ces formations sont présentes dans la région de Ouarizane à une profondeur de plus de 55 mètres et dans la région de Sebket Benziane à une profondeur de plus de 400 mètres (BOUZADA, 2013).

II.15.3. Le Quaternaire-Pliocène continental :

Une succession de couches sédimentaires composées d'argile, de marnes, de lits de sable, de graviers et de conglomérats constitue le substratum. La profondeur des forages varie considérablement d'une région à l'autre, atteignant parfois jusqu'à 300 mètres, tandis que la moyenne se situe autour de 70 mètres (DOUAOUI, 2005).

II.16. Hydrographie et hydrologie :

Entre les montagnes du Dahra au nord et l'Ouarsenis au sud, se trouve la plaine du Chélif, une région dont la vocation principale est l'agriculture. C'est également le lieu de passage de l'Oued le plus important d'Algérie, l'Oued Chélif, dont le débit varie de $5 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$ à la station du Ghrib dans le Haut-Chélif à $15 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$ à l'embouchure de Mostaganem. Le cours d'eau s'étend sur 700 kilomètres.

Dans la plaine du Haut Chélif, l'oued Chlef divise cette zone en deux rives : la rive droite couvre une superficie de 11303 hectares, tandis que la rive gauche ne mesure que 9730 hectares. Les principaux cours d'eau qui se dirigent vers la plaine d'El Khemis sont (BOUZADA, 2013) :

- **L'OuedSouffay** : qui draine le secteur Nord-est des monts du Zaccar et reçoit les eaux usées de la ville d'El Khemis (BOUZADA, 2013).
- **L'Oued Boutane** : prend sa source dans les amonts du Zaccar et reçoit les eaux usées de l'ouest de la ville, ainsi que les eaux du secteur nord. Il traverse ensuite la plaine où il est en contact avec la nappe alluviale à certains endroits avant de se jeter dans l'oued Chlef à l'ouest de la plaine (BOUZADA, 2013).

- **L'OuedDeurdeur** : dans les amonts d'Ouarsenis. Il parcourt la plaine sur une distance de plusieurs kilomètres avant de rencontrer l'oued Chlef. Un réseau hydrographique développé traverse la plaine de l'ouest du Moyen-Chélif (BOUZADA, 2013).

- **Deux oueds affluent de la rive droite** : prenant leur source dans les monts de Dahra, présentent des bassins versants de taille modeste et de faible débit en période d'étiage, il s'agit de Oued Ouahrane et Oued Ras (BOUZADA, 2013).

- **Les oueds Sly, Tsighaout et Fodda** : sont les affluents majeurs sur la rive gauche de la plaine du Moyen-Chélif occidental. Leurs bassins versants sont plus vastes, avec la partie supérieure formée par les reliefs montagneux de l'Ouarsenis. Parmi ces oueds, les deux principaux sont l'oued Sly et l'oued Fodda, bénéficiant tous deux d'un régime hydrologique favorable. En conséquence, ces deux cours d'eau ont été aménagés pour exploiter leurs ressources en eau, à travers la construction des barrages de Oued Fodda et Sidi Yakoub.

Le réseau hydrographique de la vallée du Bas-Chélif comprend l'oued principal Chlef et des oueds voisins Razzaz, Tarhia, Ouarizane et Asfar (BOUZADA, 2013).

- **L'oued Razzaz** : Il provient de la chaîne de montagnes de Hassi Belouenaouz, où se trouve de l'argile utilisée pour fabriquer du gypse. Cela explique pourquoi les eaux de l'oued contenaient beaucoup de particules d'argile et de sel lors de la Grande Déluge. Le lit de la rivière dans la vallée est de 5 à 10 mètres de profondeur et draine les environs. Les Oueds ont parfois des débits très faibles en été et s'assèchent. En hiver, pendant les fortes précipitations, les cours d'eau asséchés restent en place. L'érosion latérale se développe dans la partie inférieure du lit de la vallée. (BOUZADA, 2013).

- **L'OuedTarhia** : Cet oued n'a pas de débit permanent ; son débit est limité pendant les périodes hivernales. Le lit de l'oued Tarhia est profond de 4 à 5 mètres et est constitué de blocs et de galets (BOUZADA, 2013).

- **L'OuedOuarizane** : Son lit est mal exprimé dans les limites de la vallée et présente un débit très faible. Les matériaux de texture grossière se déposent sur le cône de déjection de cet oued pendant les grandes crues (BOUZADA, 2013).

- **L'oued Asfar** : pendant les crues hivernales, le débit est faible. Le lit de l'oued est sec pendant les autres saisons (BOUZADA, 2013).

Chapitre III : Méthodologies et Résultats et discussions

III.1. Introduction :

L'analyse des eaux souterraines est un processus important pour évaluer la qualité et les paramètres physique (Température, PH, Conductivité Électrique, la dureté) et chimique (correspondant aux éléments majeurs : Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_3^-) de ces ressources en eau situées sous la surface de la terre. Pour avoir bon résultat il faut faire plusieurs analyses dans déferlants année dans cette étude nous avons fait des analyses de 8 ans.

Permet les méthodes les plus utiliser (APC) Analyse en composante principale, est une technique statistique utilisée pour réduire la dimensionnalité d'un ensemble de données et explorer les relations entre les variables.

L'étude du chimisme des eaux est une méthode qui permet d'identifier les différents faciès chimiques des eaux, d'évaluer leur qualité pour la consommation humaine (potabilité) et de déterminer leur aptitude à l'irrigation. Cette étude est également utile pour suivre l'évolution des paramètres chimiques dans l'espace et pour déterminer leur origine, ce qui peut fournir des informations sur la géologie, les processus naturels ou anthropiques qui influencent la composition chimique des eaux. En analysant ces paramètres, on peut mieux comprendre la nature des eaux, leur adéquation pour différents usages et éventuellement prendre des mesures appropriées pour leur traitement ou leur utilisation.

- ◆ Pour l'eau potable en utilise logiciel de diagramme (Piper, SchoelerBerkaloff, Stabler –Collins, Stiff).
- ◆ Pour l'eau irrigation en utilise logiciel de diagramme (Riverside ou Wilcox ou Wilcox log).

III.1 Présentation de logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.) (diagrammes) :

Le logiciel d'hydrochimie multi-langage en distribution libre, développé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, est actuellement disponible dans sa version 6.59. Ce logiciel permet de réaliser des diagrammes d'hydrochimie pour l'analyse des eaux souterraines et de surface.

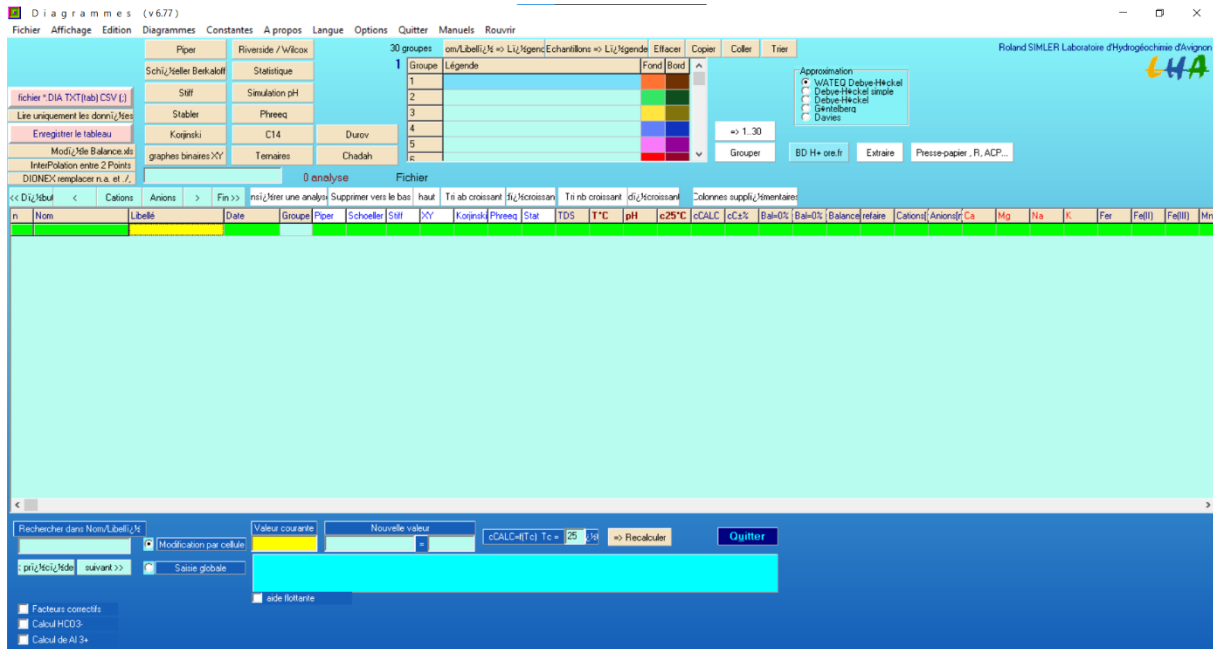


Figure III. 1. Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.

III.1.1. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper est un graphique utilisé pour représenter la composition chimique des eaux souterraines ou de surface en termes de pourcentages de cations, d'anions et de minéraux dissous. Il est largement utilisé en hydrogéologie et en géochimie pour l'analyse des eaux souterraines. Le diagramme de Piper permet de visualiser les relations entre les différents ions et minéraux présents dans l'eau.

Le diagramme de Piper est constitué de deux losanges superposés. Le losange supérieur représente les cations, tels que le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+) et le potassium (K^+). Le losange inférieur représente les anions, tels que le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-).

Chaque losange est divisé en trois parties égales, représentant les pourcentages relatifs des ions présents dans l'eau. Les valeurs numériques sont généralement données en meq/L (milliéquivalents par litre) ou en ppm (parties par million).

Le diagramme de Piper est un outil utile pour l'interprétation de la qualité de l'eau. Il permet de déterminer si l'eau est douce ou dure, acide ou alcaline, et s'il y a des signes de contamination par des ions spécifiques tels que le nitrate ou le sulfate. Il peut également être utilisé pour identifier les sources potentielles de pollution (XIMBA, 2014).

III.1.2. Diagrammes d'équivalence de charge :

Les diagrammes d'équivalence de charge, également appelés diagrammes de charge-équilibre, sont des graphiques qui permettent de déterminer le pH à l'équivalence d'une réaction acido-basique. Ces diagrammes sont utilisés en chimie analytique pour calculer la concentration d'une solution inconnue à partir de la concentration d'une solution standard titrée.

Les diagrammes d'équivalence de charge représentent la charge nette de la solution en fonction du pH. La charge nette est calculée en soustrayant la charge des cations présents dans la solution de la charge des anions. À faible pH, la charge est positive car les protons (H^+) sont les cations majoritaires. À mesure que le pH augmente, la concentration en protons diminue et d'autres cations tels que le sodium (Na^+) et le potassium (K^+) deviennent plus importants, ce qui diminue la charge nette.

Le point d'équivalence de la réaction acido-basique se produit lorsque la quantité de titrant ajoutée est suffisante pour réagir complètement avec l'analyte. À ce stade, le nombre d'ions H^+ est égal au nombre d'ions OH^- dans la solution, et la charge nette est donc nulle. Le pH à l'équivalence est déterminé à partir du point où la courbe de charge nette coupe l'axe des abscisses.

III.1.2.1. Éléments d'interprétation :

- Les charges positives et négatives sont égales.
- La détection facile des erreurs d'analyse
- $\frac{|\sum_{cation} - \sum_{anion}|}{\sum_{cation} + \sum_{anion}} < (5\% \text{ à } 10\% \text{ qualités acceptable des données})$.
(SKOOG, 2014).

III.1.3. Diagramme de SchoellerBerkaloff :

Le diagramme de Schöller-Berkhoff est un outil utilisé principalement dans les domaines du marketing et de la consommation. Cependant, il peut également être utilisé dans le domaine du traitement des eaux pour comprendre les différentes variables qui affectent la qualité de l'eau et les choix de traitement.

Le cercle intérieur du diagramme représente l'eau à traiter, le cercle du milieu représente les facteurs externes qui influencent la qualité de l'eau, tels que la pollution industrielle, les déchets domestiques, les rejets agricoles, les pesticides, etc. Le cercle extérieur représente les facteurs internes au système de traitement, tels que les technologies de traitement, les normes de qualité de l'eau.

Le diagramme de Schöller-Berkhoff peut être un outil utile pour les professionnels du traitement des eaux pour comprendre les différentes variables qui affectent la qualité de l'eau et pour concevoir des systèmes de traitement plus efficaces et plus durables (SCHÖLLER, 1948).

III.1.4. Diagramme de Stabler –Collins :

Dans le domaine du traitement des eaux souterraines, la structure des systèmes de traitement est illustrée par le diagramme de Stabler-Collins. Les différentes étapes du processus de traitement de l'eau souterraine et les interactions entre les différentes composantes du système peuvent être visualisées à l'aide de ce diagramme.

Chaque niveau du diagramme représente une étape distincte du processus de traitement de l'eau souterraine. Le niveau le plus bas représente l'eau brute qui est prélevée par pompage et acheminée vers les installations de prétraitement. Les niveaux supérieurs du diagramme représentent les différentes étapes de traitement, telles que les filtres à sable, le charbon actif granulaire et le dessalement, selon les besoins spécifiques du système de traitement.

Une fois toutes les étapes de traitement terminées, l'eau traitée est distribuée aux consommateurs au niveau le plus élevé du diagramme.

En utilisant le diagramme de Stabler-Collins, les professionnels du traitement des eaux souterraines peuvent visualiser clairement les différentes étapes du processus de traitement et comprendre les interactions entre les différentes composantes du système. Cela facilite la planification, la gestion et l'optimisation du système de traitement des eaux souterraines pour fournir une eau potable de qualité aux consommateurs (BRAGA, 2004).

III.1.5. Diagramme de Stiff :

La composition chimique d'une eau ou d'un sol peut être représentée sur un graphique en montrant la concentration en différents éléments chimiques. Le tableau a été nommé en l'honneur de Warren Stiff, un géochimiste américain qui l'a créé en 1951.

Le diagramme de Stiff est composé d'un axe horizontal qui représente la concentration des éléments chimiques, et d'un axe vertical qui représente les différents éléments. Les éléments sont disposés en ordre décroissant de concentration, de sorte que l'élément le plus abondant est représenté en haut et l'élément le moins abondant en bas.

Une ligne représente la concentration de chaque élément en fonction de sa position sur l'axe horizontal. La position de la ligne est déterminée par la concentration de l'élément, et la longueur de la ligne indique l'écart entre sa concentration et la concentration moyenne de l'ensemble des éléments.

Le diagramme de Stiff est souvent utilisé pour comparer la composition chimique de différentes eaux ou sols, ou pour suivre les changements de composition chimique d'une eau ou d'un sol au fil du temps.

Le diagramme montre également la concentration moyenne de tous les éléments, qui est représentée par la ligne horizontale sur l'axe des concentrations. Les lignes pour chaque élément sont tracées en fonction de leur concentration et de leur écart par rapport à la concentration moyenne.

Le diagramme de Stiff permet de visualiser rapidement la composition chimique d'une eau souterraine, ce qui peut aider à identifier les sources de contamination ou les processus géochimiques qui influent sur la qualité de l'eau (Todd, 2004).

III.1.6. Diagramme de Richards ou Riverside ou Wilcox :

XLSTAT est un logiciel d'analyse de données et de statistiques intégré à Microsoft Excel. Il propose une variété de fonctionnalités pour l'analyse de données, allant des techniques statistiques classiques aux techniques d'analyse multivariée avancées.

Deux axes sont présents dans le diagramme en question : l'axe horizontal représente la conductivité électrique en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$), et l'axe vertical représente l'indice d'adsorption du sodium en milliéquivalents (még). Ce diagramme permet d'évaluer le risque de salinisation des sols en prenant en compte la salinité de l'eau, mesurée par la conductivité électrique ou la charge totale dissoute, et le risque de sodisation des sols causé par l'irrigation, mesurée par l'indice d'adsorption du sodium.

Sur l'axe horizontal, le diagramme est divisé en quatre classes de salinité, permettant de catégoriser les niveaux de salinité de l'eau. Il en est de même pour l'axe vertical, qui est classé en quatre catégories, indiquant les différents degrés de risque de sodisation des sols. En utilisant les mesures de conductivité électrique et l'indice d'adsorption du sodium, ce diagramme permet d'évaluer visuellement le degré de salinité et de sodisation du sol.

Il convient de noter que XLSTAT offre des fonctionnalités d'analyse statistique avancées pour aider à interpréter et à analyser ces données, notamment en utilisant des méthodes d'analyse discriminante, de classification ou de régression, entre autres.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad \text{III-1}$$

III.2. Résultats et discussions :**III.2.1. Paramètres physico – chimique (années :2008 - 2016) :****III.2.1.1. Paramètres physiques :**

Le tableau suivant présente les résultats de l'analyse physique de l'eau pour les (36) Puits de notre région étudiée :

Remarque : Dans un taux d'un prix plus élevé de 10%, nous avons déjà payé 3 analyses sur 135auparavant.

Tableau III. 1 : Caractères physiques des eaux de forages de la wilaya de Chlef pour (2008) (ADE).

Points d'eau	Code	Nappe	Nature	Année	CE (µS)	Minéralisation (mg/l)	R.S (mg/l)	pH	TH (°F)
P02	W084-72	Cheliff	PUITS	2008	2700	1656,7	1764	8,23	90,5
P04	W084-166	Cheliff	PUITS	2008	1630	1010,6	1076	8,1	60,5
P05	W084-127	Cheliff	PUITS	2008	1120	694,4	740	8,2	38,7
P06	W084-139	Cheliff	PUITS	2008	3500	2177,4	1899	8,3	82
P09	W084-155	Cheliff	PUITS	2008	5220	3236,4	3230	8,2	146,17
P10	W084-14	Cheliff	PUITS	2008	3600	2241,4	2386	8,3	128,5
P12	W084-63	Cheliff	PUITS	2008	3970	2458,31	2617	8,25	152,9
P13	W084-91	Cheliff	PUITS	2008	2500	1524,2	1622	8,3	90
P15	W084-131	Cheliff	PUITS	2008	1100	682	760	8,2	41,2
P17	W084-140	Cheliff	PUITS	2008	4000	2 479	2 607	8,5	89
P19	W084-169	Cheliff	PUITS	2008	4770	2955,2	3146	8,1	168,7
P21	W084-196	Cheliff	PUITS	2008	1700	1038,3	1105	8,1	59,25
P22	W084-309	Cheliff	PUITS	2008	2700	1670,3	2026	7,7	85,8
P24	W085-20	Cheliff	PUITS	2 008	2530	1 569	1 670	8,0	85
P26	W085-26	Cheliff	PUITS	2008	4960	3 073	3 942	7,3	179

III.4.1.2. Paramètres chimiques :

Concentrations des éléments chimiques dans les eaux souterraines de la région de Chlef, et annonce la présentation de ces données dans un tableau suivant : (tableau III.2)

Tableau III. 2 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Chlef pour année 2008 (ADE 2016).

Points d'eau	Code	Paramétrer Chimique							
		Cation				Anion			
		Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	CO3H (mg/l)	NO3 (mg/l)
P02	W084-72	197	99	120	3	377	306	220,21	70
P04	W084-166	157	51	116	2	339	100	219,905	57
P05	W084-127	98	34	85	3	140	61	340,99	115
P06	W084-139	198	78	330	2	635	355	345,26	56
P09	W084-155	263	193	495	2	1365	480	305	49
P10	W084-14	319	117	180	2	900	141	242,475	65
P12	W084-63	340	163	300	3	760	562,5	357,46	65
P13	W084-91	225	81	120	3	364	306	335,5	21
P15	W084-131	113	31	99	2	150	40	366	45
P17	W084-140	214	84	396	2	750	443	307	71,0
P19	W084-169	403	163	300	3	1132,5	345	250,71	25
P21	W084-196	142	57	137	2	173	197	431,27	27
P22	W084-309	200	86	210	3	394	268	378,81	61
P24	W085-20	223	69	170	1	575	148	146	63,0

P26	W085- 26	432	171	350	16	793	783	512	53,0
-----	-------------	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	------

III.5. Vérification de la balance ionique :

La balance ionique est cruciale pour valider les analyses, et indique que des erreurs peuvent provenir de différentes sources. Elle rappelle également le principe de base de la balance ionique, qui doit être respecté pour garantir l'exactitude des résultats. (BARBAROUX et al, 2011) :

$$IB(\%) = \frac{|\sum cation - \sum anions|}{\sum cation + \sum anions} * 100 \quad \text{III-2}$$

Une analyse exploitable ne peut dépasser un écart de dix pour cent.

- ❖ IB= 0 % : bilan ionique idéal.
- ❖ IB < 5% : analyses bonnes.
- ❖ 5 % < IB < 10% : analyses exploitables.
- ❖ IB > 10% : analyses à refaire.

Les résultats des analyses de 36 des Puits étudiés présentent des marges d'erreur allant de excellentes à acceptables, ce qui permet de les valider (Voir le tableau III.3) :

Tableau III. 3 : Résultats de la balance ionique des analyses physico-chimie (2008).

Points d'eau	\sum Cation (meq/l)	\sum anion (meq/l)	IB(%) (meq/l)
P02	23,27369	21,74475	3,396265
P04	17,12822	16,16915	2,880299
P05	11,46223	12,6641	4,98157
P06	30,70439	31,86699	1,85805
P09	50,58817	54,28901	3,52874
P10	33,42725	33,34692	0,120299
P12	43,50567	40,05846	4,125228
P13	23,18979	22,47771	1,559272
P15	12,54729	11,78993	3,111949
P17	34,86737	36,56012	2,36989
P19	46,64954	43,64264	3,330193
P21	17,78684	16,4872	3,791911
P22	26,26841	23,88796	4,746048
P24	24,22624	22,71756	3,21379

III.6. Calcul des différents titres :♦ **Alcalinité complétée (TAC) :**

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad (\text{meq/l}) \quad \text{III-3}$$

Les valeurs d'alcalinité des eaux de forage de la région de Chelif vont de 2,22 mg/l dans les puits P04 (2009) à 12,5 mg/l dans les puits P35 (2013), selon les valeurs que vous avez fournies. Les valeurs d'alcalinité des eaux de forage de la région de Chlef sont conformes aux normes établies par la norme algérienne pour les eaux potables, qui impose une limite de 500 mg/l pour l'alcalinité.

En conséquence, les valeurs d'alcalinité observées dans les eaux de forage de la région de Chlef sont significativement inférieures à la limite fixée par la norme algérienne pour les eaux potables. Par conséquent, ces eaux sont conformes aux normes et peuvent être utilisées comme source d'eau potable sans risque majeur pour la santé en raison de leur alcalinité. Titre en sels d'acides forts (SAF) :

$$\text{SAF} = [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}] \quad (\text{meq/l}) \quad \text{III-4}$$

♦ Titre en alcalins

$$\text{TALc} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] \quad (\text{meq/l}) \quad \text{III-5}$$

♦ Solides dessus totaux TDS :

$$\text{TDS min} = \sum \text{ions (mg/l)} + [\text{SiO}_2] (\text{mg/l}) - 31 * [\text{HCO}_3^-] (\text{ppm}) \quad \text{III-6}$$

$$\text{TDS max} = \sum \text{ions (mg/l)} + \text{SiO}_2 (\text{mg/l}) (\text{ppm}) \quad \text{III-7}$$

Tableau III. 4 : Calculer différents titres (2008).

Points d'eau	TH	TAC	SAF	Talc	0,9TDS	RS	1,1TDS	pHs
Unité	méq/l	méq/l	(méq/l)	(méq/l)	min(mg/l)	mg/l	Ppm	
P02	17,97647	3,61	18,134747	5,29639099	1152,27	1764	1531,431	6.94
P04	12,03139	3,605	12,564151	5,096825543	837,135	1076	1146,0955	7.00
P05	7,688242	5,59	7,0741025	3,773989946	633,33	740	964,689	6.97
P06	16,29916	5,66	26,206993	14,4052205	1641,42	1899	2199,186	6.78
P09	29,00591	5	49,289013	21,58225399	2697,3	3230	3467,2	6.78
P10	25,54661	3,975	29,371923	7,880644595	1658,925	2386	2163,1225	6.74
P12	30,37979	5,86	34,198463	13,12588207	2132,37	2617	2806,056	6.58
P13	17,8934	5,5	16,977711	5,29639099	1156,5	1622	1601,05	6.70
P15	8,189919	6	5,789931	4,357373607	594	760	930,6	6.88
P17	17,59133	5,035	31,525122	17,27603389	1899,945	2 607	2493,8485	6.81
P19	33,52366	4,11	39,53264	13,12588207	2245,32	3146	2884,431	6.66
P21	11,77657	7,07	9,4171999	6,010266169	852,39	1105	1282,897	7.75
P22	17,05727	6,21	17,677962	9,211136531	1267,47	2026	1760,891	6.71
P24	16,80614	2,4	20,317565	7,420096112	1188,9	1 670	1534,94	7.06
P26	35,62914	8,4	39,50217	15,63323853	2564,1	3 942	3420,34	6.34

III.7. Etude de l'équilibre calco-carbonique de l'eau (indices de saturation) :

III.7.1. Indice de Langelier :

En effet, la méthode de Langelier est utilisée pour évaluer l'agressivité de l'eau. Le calcul de l'indice de saturation, également connu sous le nom d'indice de Langelier (IL), est la base de cette approche.

La différence entre le pH réel de l'eau et son pH calculé est connue sous le nom d'indice de Langelier. Le pH théorique de saturation est indiqué par le pH.

$$IL = pH - pHs \quad \text{III-8}$$

L'échelle de classification des eaux selon Langelier :

- IL inférieur 0 l'eau est agressive.
- IL égal 0 l'eau est à l'équilibre.
- IL supérieur 0 L'eau est incrustante (entartrant) (DREVER, 1982).

Tableau III. 5 : Variation de l'indice de Langelier IL(2008).

Points d'eau	T	pH	PHs	IL
P02	25	8,23	6,94	1,29
P04	25	8,1	7	1,1
P05	25	8,2	6,97	1,23
P06	25	8,3	6,78	1,52
P09	25	8,2	6,78	1,42
P10	25	8,3	6,47	1,83
P12	25	8,25	6,58	1,67
P13	25	8,3	6,7	1,6
P15	25	8,2	6,88	1,32
P17	25	8,5	6,81	1,69
P19	25	8,1	6,66	1,44
P21	25	8,1	7,75	0,35
P22	25	7,7	6,71	0,99
P24	25	8,0	7,06	0,94
P26	25	7,3	6,34	0,96

Les eaux de forage de la zone de Chlef ont un indice de Langelier supérieur à 0. Ainsi, l'indice de Langelier affirme que toutes les eaux souterraines de la région de Chlef sont incrustantes. Dans cette zone, l'indice de Langelier fluctue entre 0.12 (P34 année 2009) et 1.94 (P37 année 2011).

III.7.2. Indice de saturation de Ryznar (indice de stabilité) :

L'indice de saturation de Ryznar, également connu sous le nom d'indice de stabilité de Ryznar, est un autre paramètre utilisé pour évaluer la tendance d'une eau à former des dépôts calcaires. Il est largement utilisé dans le domaine du traitement de l'eau ; Une fois que vous avez calculé l'indice de saturation de Ryznar, vous pouvez l'utiliser pour évaluer la tendance de l'eau à former des dépôts calcaires selon l'échelle suivante :

$$IR = 2pHs - pH \quad \text{III-9}$$

$IR < 6$: Eau corrosive

L'eau est corrosive et a tendance à dissoudre les matériaux, y compris les surfaces métalliques.

$6 \leq IR \leq 7$: Eau légèrement corrosive

L'eau est légèrement corrosive, mais elle est généralement considérée comme acceptable pour la plupart des applications.

IR > 7 : Eau incrustante

L'eau a tendance à former des dépôts calcaires et peut entraîner l'entartrage des canalisations et des équipements (Ryznar, 1944).

Table III. 6 : Calculs de l'indice de Ryznar 2008.

Points d'eau	2.Phs	Ph	IR
P02	13,88	8,23	5,65
P04	14	8,1	5,9
P05	13,94	8,2	5,74
P06	13,56	8,3	5,26
P09	13,56	8,2	5,36
P10	12,94	8,3	4,64
P12	13,16	8,25	4,91
P13	13,4	8,3	5,1
P15	13,76	8,2	5,56
P17	13,62	8,5	5,12
P19	13,32	8,1	5,22
P21	15,5	8,1	7,4
P22	13,42	7,7	5,72
P24	14,12	8,0	6,12
P26	12,68	7,3	5,38

D'après les calculs de l'indice de Ryznar, les valeurs obtenues varient entre 4.56 (P37 année 2014) et 7.26 (P34 année 2009) pour les eaux souterraines de la région de chlef. Selon la valeur de l'indice de Ryznar, la majorité d'analyses sont inférieures à 6 (IR < 7) donc L'eau est corrosive et a tendance à dissoudre les matériaux, y compris les surfaces métalliques, sauf quelques analyses la valeur de l'indice de Ryznar entre 6 et 7 donc L'eau est légèrement corrosive, mais elle est généralement considérée comme acceptable pour la plupart des applications.

Remarque : analyse de Puits 34 année 2009 c'est une seule analyse la valeur de l'indice de Ryznar supérieure 7.

III.7.3. Indice de saturation de Larson IC (indice de corrosivité) :

La tendance à la corrosion d'une eau peut être déterminée à l'aide de l'indice de Larson, qui est calculé à l'aide de cette formule :

$$IC = \frac{2.[SO_4^{2-}] + [Cl^-]}{\text{Alcalinité(TAC)}} = \frac{2.[SO_4^{2-}] + [Cl^-]}{2[HCO_3^-]} \quad \text{III-10}$$

Où :

IC : mol/l.

[Cl⁻] : mmol/l

[SO₄²⁺] : mol/l

[HCO₃⁻] : mmol/l

TAC : mmol/l

Interprétation de la classification de l'indice de Larson :

IC < 0,2 : Il n'est pas susceptible de se corroder.

0,2 ≤ IC < 0,4 : La corrosion est rare.

0,4 ≤ IC < 0,5 : sensible à la corrosion.

0,5 ≤ IC < 1 : Corrosion moyenne.

IC ≥ 1 : Très résistant à la corrosion (HIBA, 2022).

Tableau III. 7 : Calculs de l'indice de corrosivité.

Points d'eau	2,SO ₄ mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	IC
P02	612	377	220,21	4,49
P04	200	339	219,90	2,45
P05	122	140	340,99	0,76
P06	710	635	345,26	3,89
P09	960	1365	305	7,62
P10	282	900	242,47	4,87
P12	1125	760	357,46	5,27
P13	612	364	335,5	2,9
P15	80	150	366	0,62
P17	886	750	307	5,32
P19	690	1132,5	250,71	7,26
P21	394	173	431,27	1,31
P22	536	394	378,81	2,45
P24	296	575	146	5,94
P26	1565	793	512	4,60

III.8. Evaluation de la qualité des eaux des puits pour la potabilité :

L'évaluation de la qualité des eaux des forages pour la potabilité est une étape importante pour s'assurer que l'eau est sûre à boire et conforme aux normes sanitaires en vigueur. Cette

évaluation consiste en général à mesurer différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques,

III.8.1 Paramètres physiques d'eau :

III.8.1.1 Température (T °C) :

La région est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride, avec des hivers frais et humides et des étés chauds et secs. Dans cette étude on prend la température constante $T = 25^{\circ}$

III.8.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le niveau de pH d'une eau ou d'une solution est déterminant pour évaluer son degré d'acidité ou de basicité, et permet ainsi de mesurer sa concentration en ions H^+ . Cette caractéristique revêt une grande importance car elle renseigne sur le caractère corrosif, agressif ou propice à la formation de dépôts calcaires de l'eau. La présence d'ions dans l'eau est influencée par différents facteurs tels que l'environnement naturel, les rejets urbains et industriels, ainsi que le lessivage des terres agricoles (GAËTAN, ELIE SERGE, 2005).

La surveillance de ce paramètre révèle une variété de ses valeurs à l'échelle régionale, mais sans écart significatif.

Les valeurs de ce paramètre varient entre 7.1 (mesuré dans le Puits P50 dans année 2014) et 8.8 (mesuré dans les Puits P37 dans année 2011), avec une moyenne de 7.95. Cette variation est attribuée à la nature des roches dans la zone, qui sont principalement des roches sédimentaires riches en composants carbonatés. Selon les normes algériennes, les valeurs acceptables pour le pH sont de 6,5 à 9.

Les valeurs de pH mesurées dans les eaux des forages de notre région respectent la norme de potabilité algérienne qui exige que le pH se situe entre 6,5 et 9. Par conséquent, ces eaux sont conformes aux normes de qualité de l'eau potable en Algérie (JORA, 2011).

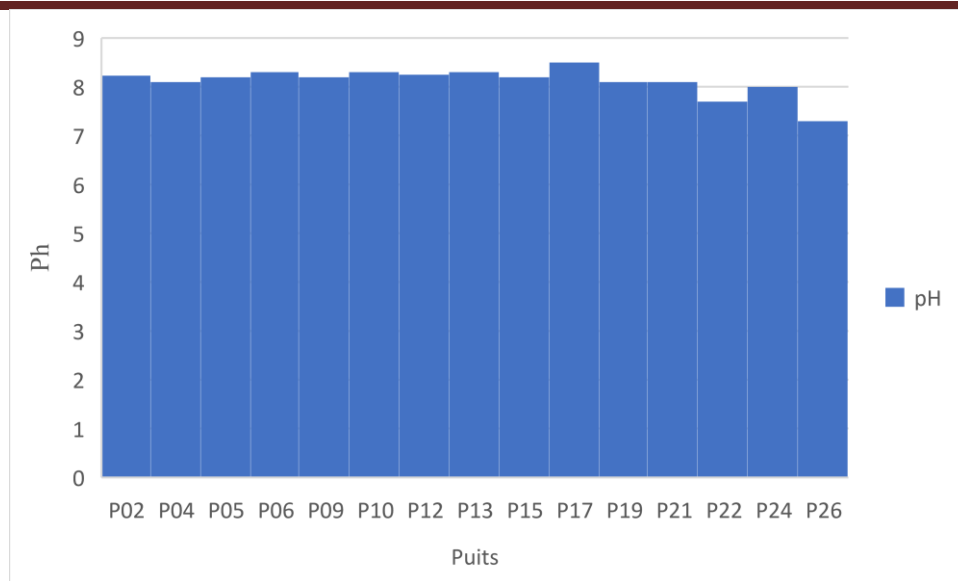


Figure III. 2 : Variation du pH des forages étudiés (2008)

III.8.1.3. Conductivité électrique (CE) :

Les interactions entre l'eau et les roches et la capacité de l'eau à dissoudre les minéraux des roches ont un impact sur la conductivité électrique de l'eau. La capacité d'une eau (ou d'un matériau) à conduire un courant électrique plus ou moins rapidement est appelée. À une température de 25 °C, la conductivité électrique est exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La concentration de sels dissous dans l'eau est directement proportionnelle à la conductivité électrique (SAURET, ELIE SERGE GAËTAN, 2005). (Voir la figure II.4).

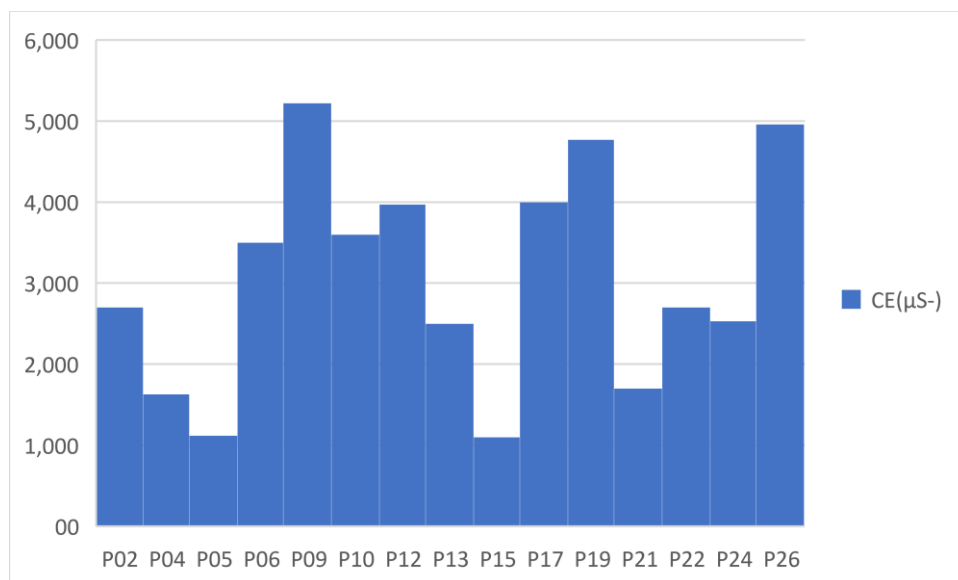


Figure III. 3 : Variation de la conductivité des forages étudiés en (μS -)(2008).

Les mesures de conductivité pour les 36 Puits varient de 610 μS P34 (dans année 2009) à 6800 μS dans P09 (dans année 2010), avec une moyenne de 3705 μS , et sont toutes inférieures à la limite de potabilité fixée à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Algérie. Les eaux souterraines sont classées comme ayant

un degré de minéralisation allant de "Important" à "Excessif" pour les 36 Puits. Sur la base de ces résultats, on peut conclure que la qualité de l'eau est suffisante.

Tableau III. 8 : Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité (SAURET, ELIE SERGE GAËTAN, 2005).

Conductivité (µS/cm)	Degré de Minéralisation	Qualité de l'eau
C<100	Très faible	Excellente
100<C<200	Faible	Excellente
200<C<400	Peu accentue	Excellente
400<C<600	Moyenne	Bonne
600<C<1000	Important	Utilisable
C>1000	Excessive	Utilisable

II.8.1.4. La dureté (TH) :

La dureté de l'eau est exprimée en degrés français (°F) ou en milligrammes par litre (mg/L). Une eau avec une dureté inférieure à 15 °F ou 150 mg/L est considérée comme douce, tandis qu'une eau avec une dureté supérieure à 30 °F ou 300 mg/L est considérée comme dure. Une eau avec une dureté entre 15 et 30 °F ou 150 et 300 mg/L est considérée comme modérément dure

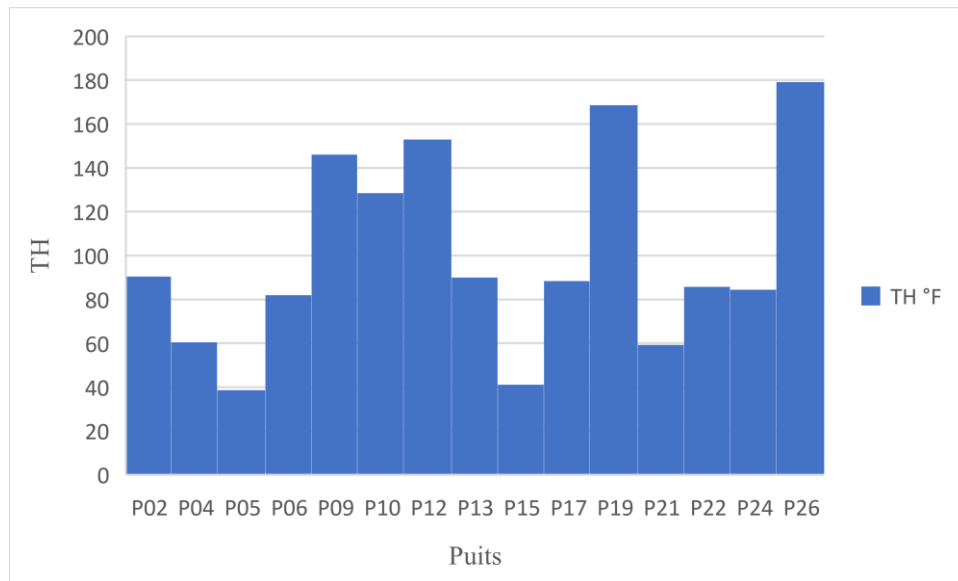


Figure III. 4 : Variation de la dureté des forages étudiés en (°F) (2008).

Les analyse de la dureté pour les 36 Puits varient entre 31°F et 1465°F. La valeur minimale de TH est 31°F (P34) dans année 2009 et la valeur maximale de TH est 179°F (P09) dans année 2014.

Tableau III. 9 : Qualité de l'eau en fonction du TH (2008).

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
				P05-P15	P2-P4-P6-P9-P10-P12-P13-P17-P19-P21-P22-P24-P26

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 13.33% des Forages qualité Dure
- 86.67% des Forages qualité Très dure

Remarque : l'eau dans cette région en général dure et trèsdure cela est du a la nature des roches la région.

III.7.2. Paramètres chimiques :

III.7.2.1. Cation :

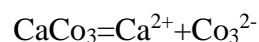
III.7.2.1.1. Calcium :

Le calcium est essentiel à la croissance osseuse, à la contraction musculaire et à la minéralisation des dents. L'ostéoporose est l'un des nombreux problèmes de santé qui peuvent résulter d'une carence en calcium.

Il convient de noter que l'eau calcique ne doit pas être considérée comme une source alimentaire suffisante de calcium car sa teneur en calcium n'est pas suffisante pour répondre aux besoins quotidiens du corps. Cependant, il peut aider les personnes souffrant de problèmes hépatiques ou digestifs. La consommation d'eau riche en calcium peut également prévenir l'hypertension artérielle, l'ostéoporose et la croissance chez les enfants (ART).

Deux sources naturelles de la présence d'ions Ca^{2+} dans l'eau sont la dissolution de formations carbonatées (CaCO_3) ou de formations gypseuses (CaSO_4) (DALILA, 2009).

Selon (RODIER ET ALL, 2009) les eaux contenant plus de 200 mg/L de calcium présentent des inconvénients à la fois pour l'utilisation à la maison et pour l'alimentation.



Les teneurs en calcium des eaux analysées (Figure 6) des 36 Puits étudiés sont changer enter 63 mg/l (P34 année 2010) à 444.4 mg/l (P36 année 2012) Selon les normes algériennes de l'eau potable, la concentration maximale tolérée est de 200 mg/l (JORA, 2011). Dans ce cas il y 24 Puits sa valeur dépassé 200 mg/l.

Tableau III. 10 : Les teneurs de calcium.

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016
Puits>200 mg/l	P09-P10- P12-P13- P17-P19- P22-P24- P26	P02-P08- P09-P10- P12-P13- P19-P24- P29-P31- P32-P33- P35	P08-P09- P10-P12- P36-	P08-P09- P10-P12- P19-P35- P36-P38- P40-	P09-P10- P12-P32- P35-P36- P38-P40- P41	P08-P10- P12-P13- P19-P32- P35-P37- P38-P44- P46-P47- P48	P08-P09- P10-P12- P13-P19- P32-P35- P38-P42	P08- P09- P10- P12- P13- P19- P24- P31- P32- P35- P37-P51

(P8.P9.P10.P12.P13.P17.P19.P24.P26.P29.P31.P32.P33.P34.P35.P36.P38.P40.P41.P44.P46.P47.P48.P51) Ces eaux sont considérées non calciques (Ca>200 mg/l) selon (CEE, 2009).

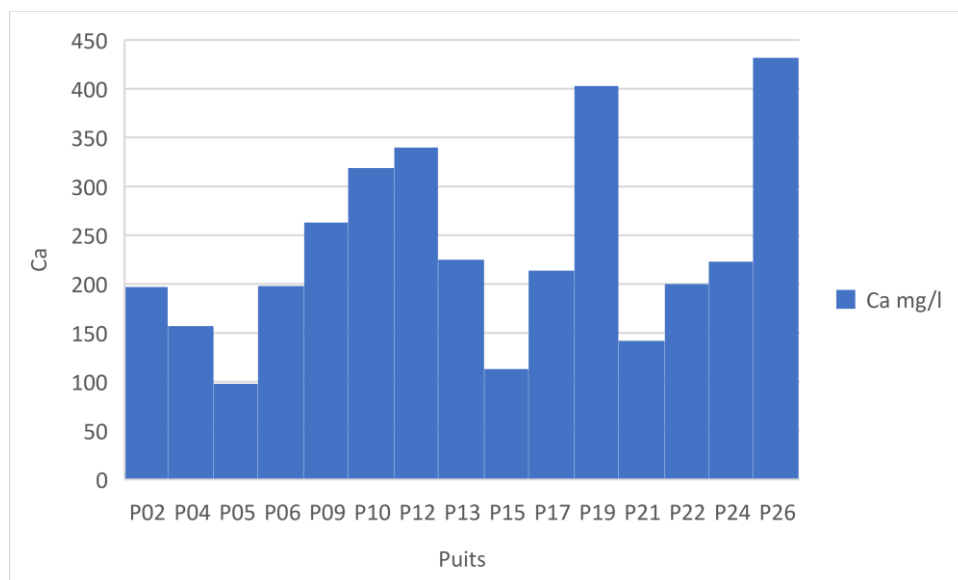


Figure III. 5 : Variation de la teneur en calcium dans les Forages d'eau (2008).

III.7.2.1.2. Magnésium :

Le magnésium est essentiel au fonctionnement du système nerveux et à la contraction des muscles. Les crampes musculaires, les spasmes, l'anxiété et les problèmes digestifs peuvent être causés par une insuffisance en magnésium. Il peut avoir un effet laxatif à des doses élevées. La consommation de légumes féculents comme les haricots, les lentilles et les pois chiches, ainsi que d'aliments riches en magnésium comme la farine complète, les épinards, les artichauts, les pommes de terre, le chou, les avocats, le cacao, le soja et les noix, contribuent généralement à l'apport en magnésium. Pour maintenir une bonne santé et éviter les symptômes d'une carence en magnésium, il est essentiel de maintenir un apport adéquat en magnésium (ART).

Le magnésium a des effets bénéfiques sur le moral, car il contribue à réguler la fatigue, le stress et l'anxiété. Il est issu des mêmes sources que le calcium, provenant de la dissolution de formations carbonatées riches en magnésium, telles que la magnésite et la dolomite (DALILA, 2009). Et La dissolution du $MgSO_4$ des terrains gypseux du Trias.

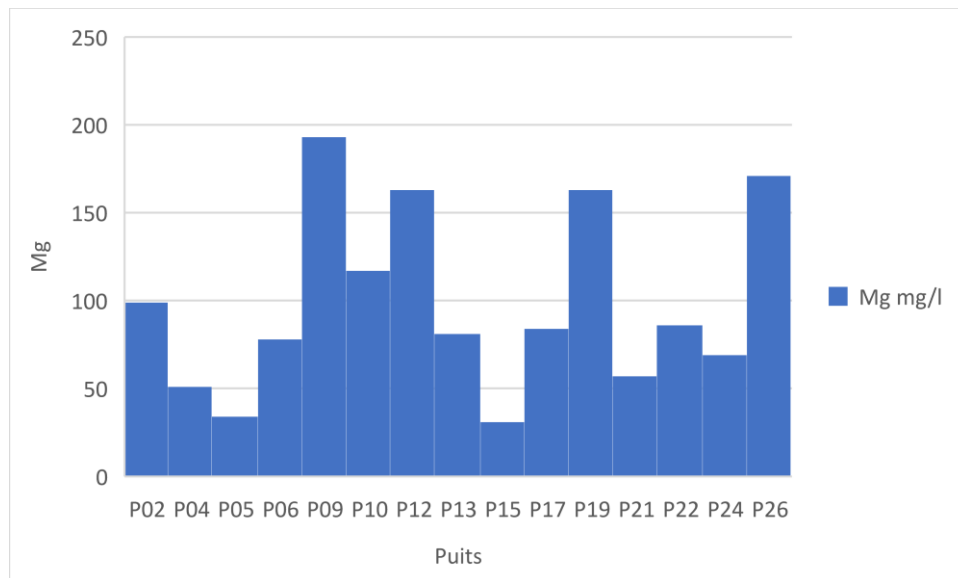
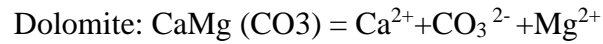


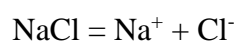
Figure III. 6 : Variation de la teneur en magnésium dans les Forages d'eau (2008).

D'après les analyses, les eaux dans la région de Chlef présentent toutes une concentration en magnésium entre : P34= 3 mg/l (année 2013) à P12= 208mg/l (année 2012), avec une moyenne de 101.5 mg/l. Généralement les résultats inférieurs à la norme algérienne pour l'eau potable naturelle, qui est fixée à 150 mg/l, sauf les puits (P12.P19.P26 dans l'année 2008 et P08.P12 dans l'année 2010 et P32.P40.P41 dans l'année 2012 et P08.P12.P51 dans l'année 2016). Par conséquent, ces eaux sont conformes aux exigences réglementaires en vigueur (JORA, 2011).

III.7.2.1.3. Sodium :

Lorsque l'on souffre d'hypertension ou de rétention d'eau, il est conseillé de privilégier la consommation d'eaux à faible teneur en sodium. Le sodium présent dans l'eau provient principalement de la dissolution de minéraux salins (DALILA, 2009).

Les phénomènes de lessivage, d'évaporation et d'échange de base contribuent principalement à la présence de sodium dans l'eau. Ces processus sont étroitement liés à la dissolution des minéraux salins :



Selon les réglementations de potabilité en Algérie, la concentration de sodium égale ou inférieure à 200 mg/l. Dans ce cas, il y a plusieurs analyses supérieures à 200 mg/l, donc éliminer (JORA, 2011).

Les eaux étudiées sont considérées comme ne contenant pas de sodium. (Na < 200 mg/l) selon (CEE, 2009). Sauf les analyses dans tableau III.11

Tableau III. 11 : Teneurs de sodium.

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016
Puits>200 mg/l	P06-P09- P12-P17- P19-P22- P26	P08-P09- P12-P19- P31-P32	P08-P09- P12-P19- P24	P08-P09- P19-P24- P37-P38- P40	P09-P12- P40-P41	P08-P12- P19-P35	P08-P12- P19-P32- P37-P38	P09- P10- P12- P19- P31- P40-P51

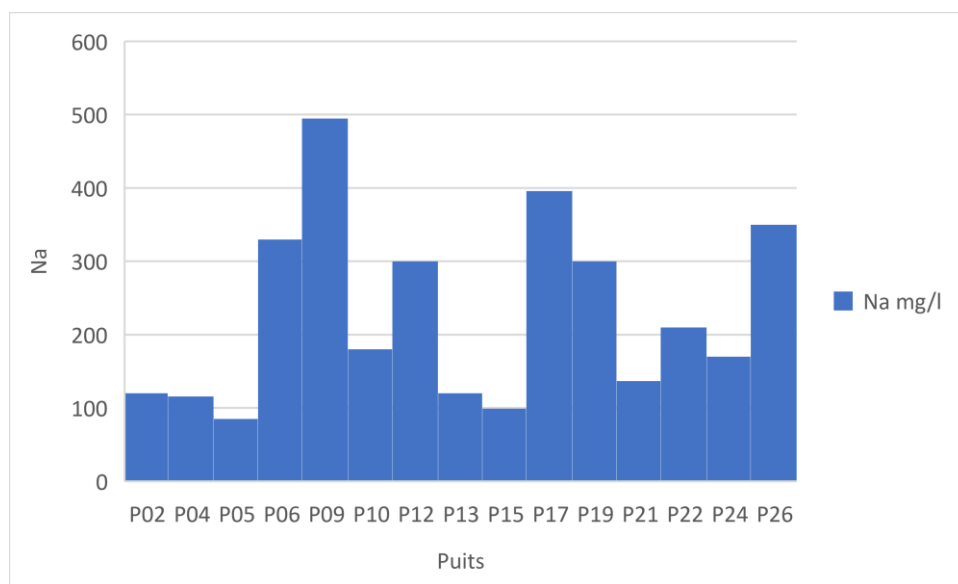


Figure III. 7 : Variation de la teneur en sodium dans les Forages d’eau (2008).

III.7.2.1.4. Potassium :

Le potassium est essentiel à la contraction des muscles. Une alimentation équilibrée est généralement suffisante pour combler les besoins quotidiens de potassium. La majorité des eaux minérales contiennent peu de potassium. Cependant, un excès de potassium peut provoquer des contractions cardiaques et des effets négatifs sur le système neuromusculaire. Par conséquent, il est déconseillé de consommer de l'eau riche en potassium si vous souffrez d'insuffisance rénale (ART).

Le potassium peut être obtenu à partir de diverses sources, telles que la désagrégation des minéraux potassiques tels que le mica et le feldspath potassique, l'eau de pluie ou l'eau souterraine. De plus, il peut être obtenu en dissolvant les engrais chimiques agricoles. (DALILA, 2009).

Les teneurs en potassium dans la région d’étude varient entre 1 mg/l (P24 dans année 2008, P04-P19-P21-P31-P35-P40 dans année 2016 et P19=48 mg/l dans année 2013). La réglementation actuelle en Algérie stipule que la quantité de potassium dans l'eau ne doit pas dépasser 12 mg/les résultats de l’étude.

Dans notre étude, nous avons quelques puits dans lesquels la valeur du potassium a été dépassée les normes algériennes.

Tableau III. 12 : Teneurs de Potassium.

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016
Puits>12 ml/l	P26	P12-P32	P13		P13	P04-P08-P10-P12-P13-P19-P21-P32-P37-P38-P42-P43-P44-P46-P47-P48-P50	P13-P37	P51

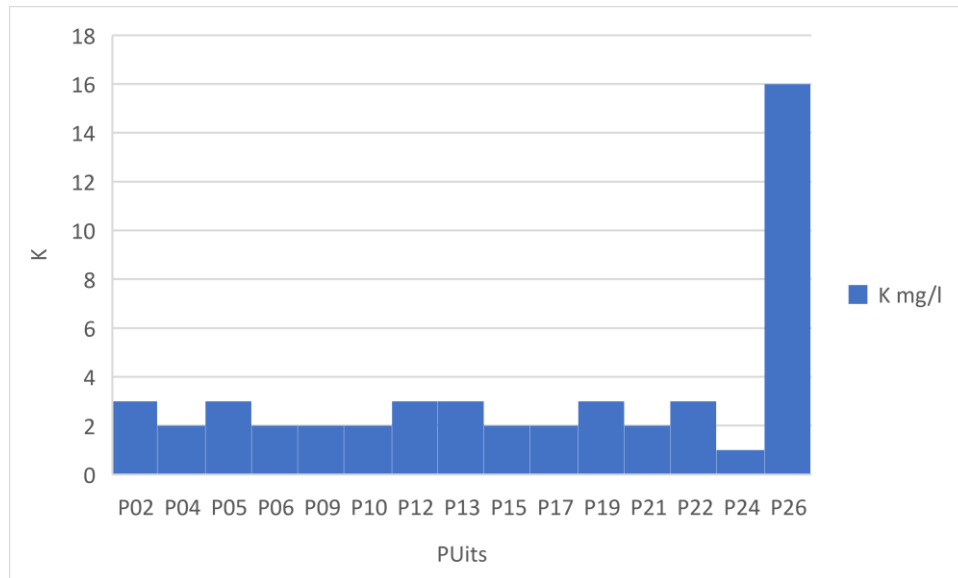


Figure III. 8 : Variation de la teneur en potassium dans les Forages d’eau (2008).

III.7.2.2. Anion :

III.7.2.2.1. Bicarbonate :

Les carbonates et les bicarbonates sont des substances naturellement présentes dans l'eau qui peuvent donner à l'eau une saveur agréable sans présenter de risques pour la santé humaine. De plus, grâce aux propriétés anti-acides du bicarbonate de sodium, ils ont la capacité de favoriser la digestion et de soulager les brûlures d'estomac. Les eaux contenant des bicarbonates sont souvent considérées comme bénéfiques pour les personnes pratiquant des activités sportives car elles peuvent aider à neutraliser l'acidité produite par les muscles pendant l'exercice (ART).

Les bicarbonates sont généralement produits par la dissolution des minéraux carbonatés et l'action du CO₂ présent dans les eaux météoriques et le sol (M.PARIZOT, 2008). La concentration maximale est de 600 mg/l.

Conformément aux normes. Les valeurs de bicarbonate pour tous les forages vont de P24 à 146 mg/l (2008) à P37 à 763 mg/l (2013). Ils répondent à la norme de puissance en Algérie (JORA, 2011).

Ce type d'eau est considéré comme non bicarbonatée ($HCO_3 < 600$ mg/l), selon (CEE, 2009). Sauf P37(2011 ,2012,2013,2014).

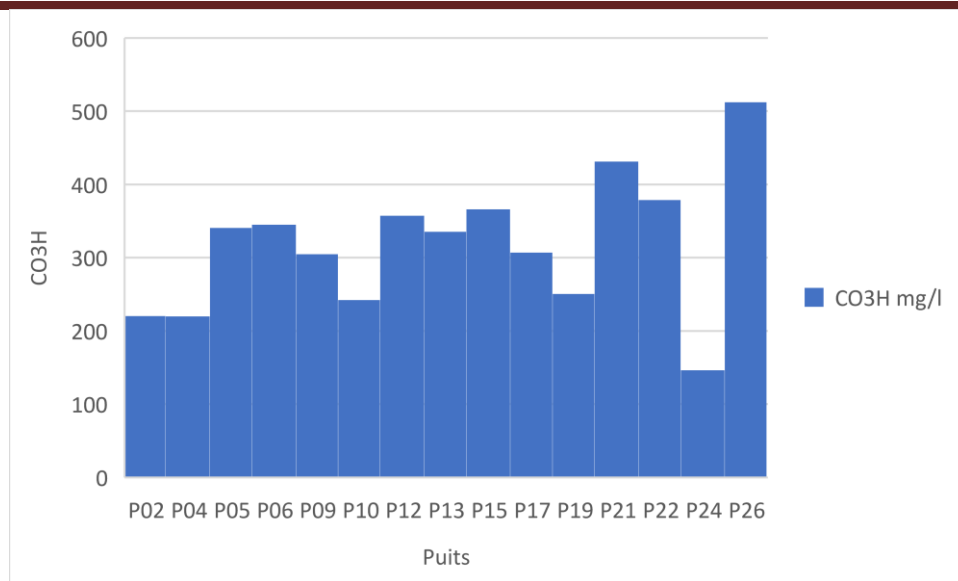


Figure III. 9 : Variation de la teneur en bicarbonate dans les Forages d'eau (2008).

III.7.2.2.2. Chlorure :

Les eaux contenant des chlorures stimulent la croissance et peuvent traiter les problèmes de développement. Cependant, le chlorure ne doit pas dépasser 500 mg/L dans les eaux destinées à la consommation humaine. Il convient de noter que dès 200 mg/L de chlorure, le goût de chlore (ou de javel) peut être détecté. Bien que le chlorure soit éliminé naturellement par le corps par l'urine, une surdose peut provoquer des vomissements (ART).

La présence réduite de chlorure dans l'eau peut encourager la production de suc gastrique et offrir une protection contre les éléments toxiques. En revanche, des pertes fréquentes de chlorure suite à des vomissements et des diarrhées peuvent entraîner des crampes dans les muscles et une grande fatigue physique (ART). Le chlorure et le sodium ont la même source d'origine, c'est-à-dire qu'ils Les deux proviennent de la dissolution des minéraux salifères (DALILA, 2009).



Conformément aux normes de potabilité algériennes, la teneur en chlorures des eaux de consommation ne doit pas dépasser 500 mg/l. L'analyse des échantillons d'eau prélevés a montré des niveaux normaux de chlorures variants entre 60 mg/l (P13 année 2013 et P34 année 2011) et P09=1390 mg/l (2010), qui respectent les normes requises. Les échantillons d'eau sont donc conformes aux normes de potabilité algériennes (JORA, 2011).

Selon la (CEE, 2009), les eaux provenant des forages sont considérées comme non chlorurées (Cl inférieur à 500 mg/l). On peut les considérer comme des chlorurées à l'exception des Forages présents dans le tableau.

Tableau III. 13 : Teneurs de Chlorure.

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016
Puits>500 ml/l	P06-P09- P10-P12- P17-P19- P24-P26	P08-P09- P10-P12- P24-P31	P08-P09- P12-P36	P08-P09- P10-P12- P19-P24- P36-P38- P40	P09-P10- P12-P32- P35-P36- P40-P41	P08-P12- P19-P35	P08-P09- P10-P12- P19-P32- P38	P08- P09- P10- P12- P13- P19- P31- P51

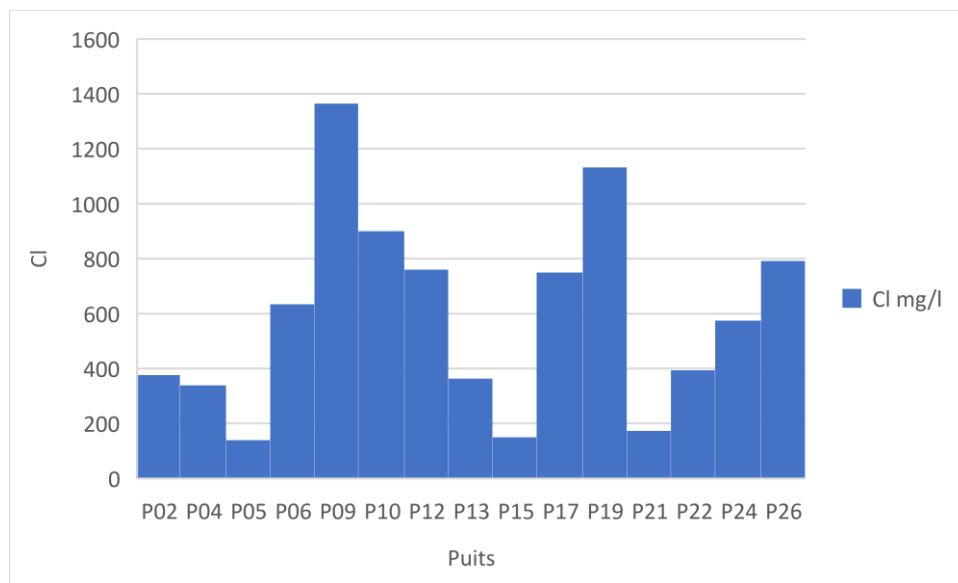


Figure III. 10 : Variation de la teneur en chlorure dans les Forages d'eau (2008).

III.7.2.2.3. Sulfate :

En 1993, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommandait une concentration en sulfate de 500 mg/l dans l'eau. Depuis 1998, l'Union européenne (UE) suggère une limite maximale de 250 mg/l en cas de teneurs élevées en sulfate (au-dessus de 400 mg/l). Lorsque la concentration en sulfate est élevée, l'eau peut avoir un effet laxatif et entraîner des épisodes de diarrhée. Au-delà de ces niveaux, elle peut présenter un goût médicamenteux, avec une tendance à l'amertume. Il est déconseillé de la consommer pendant la période de croissance, car les sulfates peuvent interférer avec l'absorption du calcium et l'inhiber (ART).

La présence d'ions sulfatés dans l'eau est due à la dissolution de formations géologiques riches en gypse (BADAoui, 2019).

Peut avoir plusieurs origines :

- La teneur mesurée des minéraux riches en soufre varie de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l.
- Le lessivage des formations évaporitiques implique des teneurs allant jusqu'à une centaine ou un millier de mg/l (M.PARIZOT, 2008).

- Les eaux usées et les déchets industriels contiennent de l'acide sulfurique (SO₄H₂).et l'utilisation de pesticides.

Tableau III. 14 : Teneur de Sulfate.

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016
Puits>40 0 ml/l	P09-P12- P17-P26	P09-P12- P31-P32	P08-P09- P12-P36	P09-P10- P38-P40	P09-P12- P36-P38- P40-P41	P08-P12- P13-P32 - P44	P08-P09 - P13- P32- P37	P09-P12- P31-P35-

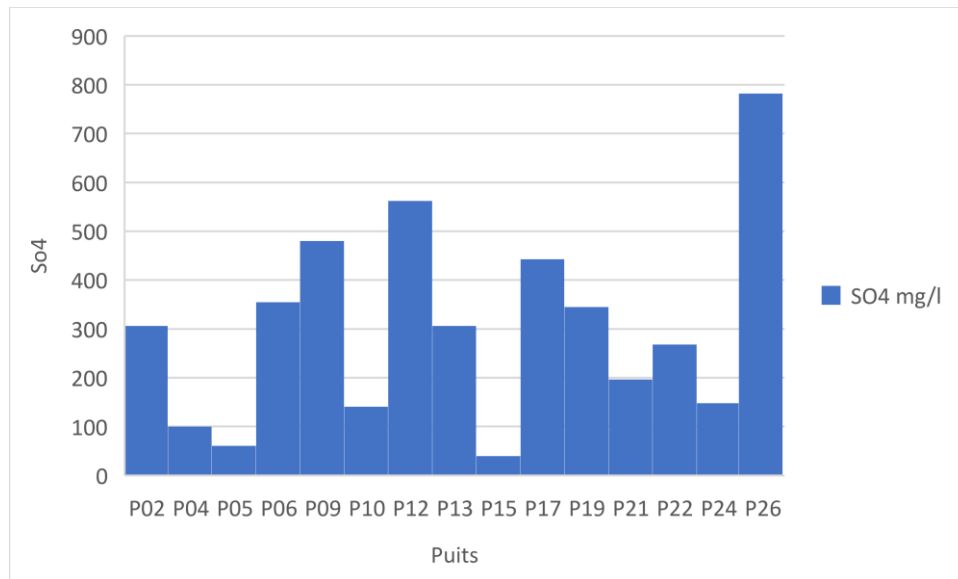


Figure III. 11 : Variation de la teneur en sulfate dans les Forages d'eau (2008).

III.7.2.2.4. Nitrate :

Les nitrates sont pris en compte comme indésirables en grande quantité car, une fois ingérés, ils peuvent se transformer en nitrites qui sont à l'origine de problèmes toxicologiques. Les nitrites peuvent causer des problèmes d'oxygénation du sang (ART).

Les nitrates, la forme d'azote la plus oxydée, sont très solubles dans l'eau. Ils sont principalement présents dans les eaux souterraines en raison de l'utilisation intensive d'engrais chimiques en agriculture et des rejets d'eaux usées (DALILA, 2009).

Selon la réglementation algérienne, la valeur maximale recommandée pour les nitrates dans l'eau destinée à la consommation est de 50 mg/L (JORA, 2011). (Voir la figure III.12).

L'analyse des échantillons d'eau prélevés a montré des niveaux normaux de nitrate variants entre P35=0 mg/l (2013) et P24=270 mg/l (2011), qui respectent les normes requises. Les échantillons d'eau sont donc conformes aux normes de potabilité algériennes (BADAoui, 2019).

On constate dans le tableau qu'il y a une forte concentration de nitrates pour les puits, dépassant ainsi la limite maximale autorisée.

En ce qui concerne les autres puits, on constate une faible quantité de nitrates (inférieure à la limite autorisée).

Tableau III. 15 : Teneurs de nitrate.

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016
Puits>50 ml/l	P02-P04- P05-P06- P10-P12- P17-P22- P24-P26	P04-P10- P19-P24- P28-P34- P35	P04-P10- P24-P34- P35	P04-P09- P10-P12- P19-P24- P34-P35- P36-P38	P04-P09- P10-P19- P34-P35- P36-P38- P40	P04-P10- P19-P34- P46-	P10-P35	P04- P09- P12- P19- P31- P32- P34- P35- P37-P51

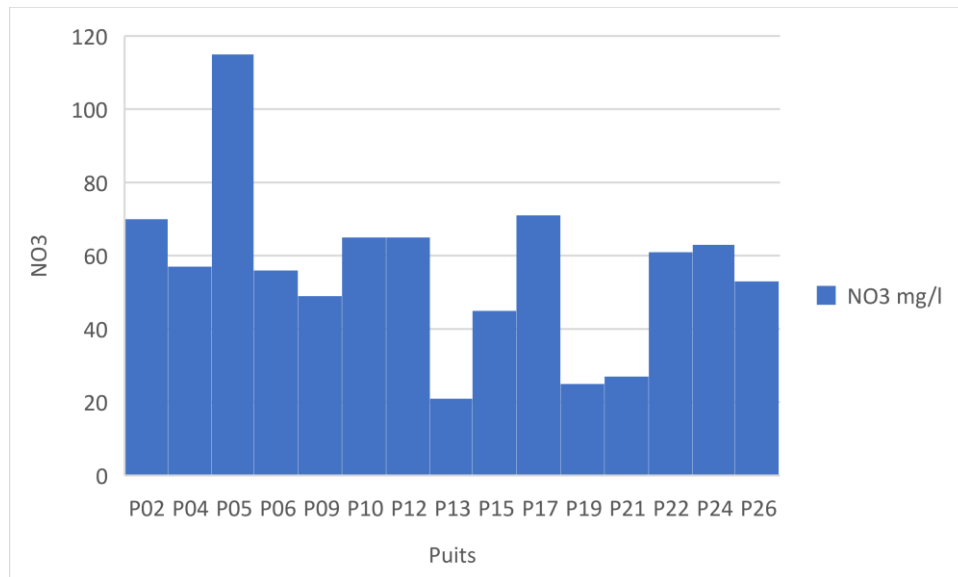


Figure III. 12 : Variation de la teneur en nitrate dans les Forages (2008).

III.8. Classification chimiques des eaux souterraines (eaux de Forages) :

III.8.1. Classification des eaux souterraines selon diagramme de PIPER (faciès chimique) :

Sur le diagramme de Piper, l'analyse chimique des échantillons d'eau prélevés dans les forages (36 forages) indique que (Figure III.14) :

- Les échantillons d'eau analysés se distinguent par leur composition chimique qui se caractérise par un seul faciès chimique :

✚ Chlorure et sulfate calcique et magnésienne

Dans l'ensemble des échantillons analysés, le calcium dominant en tant que cation.

Chlorures sont les anions dominants.

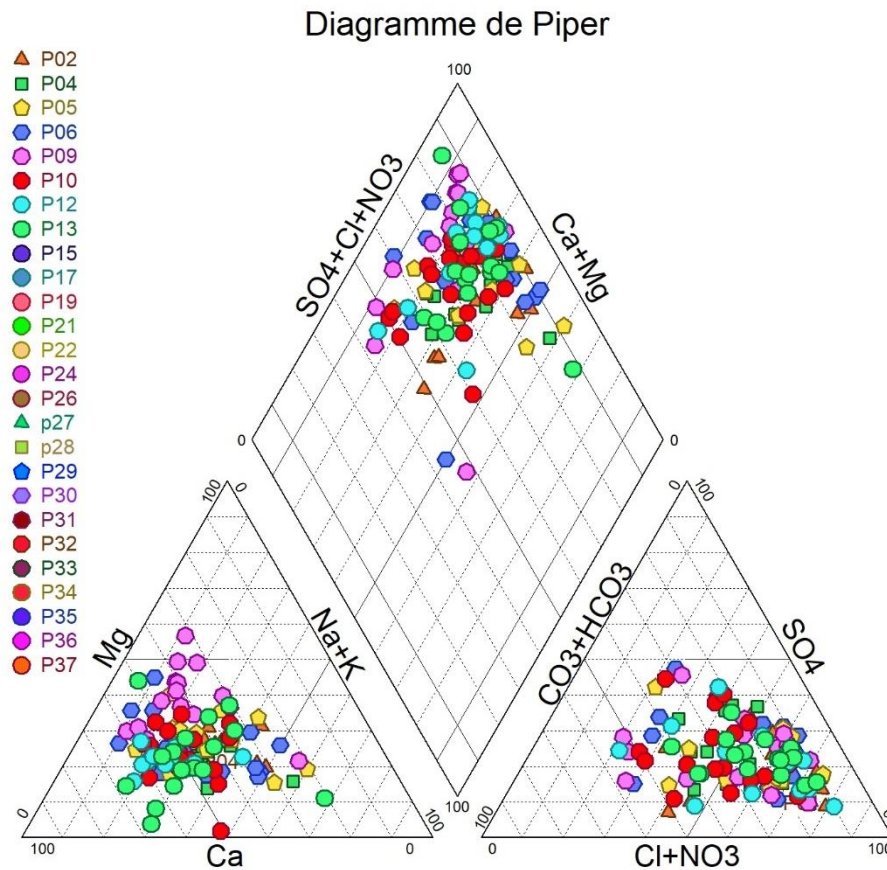


Figure III. 13 : Classification des Forages d'eau sur diagramme de PIPER.

III.8.2. Classification des eaux souterraines selon diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Pour représenter graphiquement le faciès chimique et la minéralisation d'une eau, les concentrations des éléments majeurs sont utilisées dans le diagramme de Schoeller-Berkaloff. Une ligne brisée représente chaque échantillon. Si plusieurs lignes brisées sont parallèles, cela indique qu'elles appartiennent au même groupe d'eaux présentant des variations de minéralisation mais avec des proportions similaires des différents éléments dissous. Cependant, le croisement de lignes indique un changement de faciès chimique. La composition chimique des eaux étudiées peut être caractérisée en utilisant les diagrammes de Schoeller-Berkaloff.

Analyses de Année 2008 :

2008

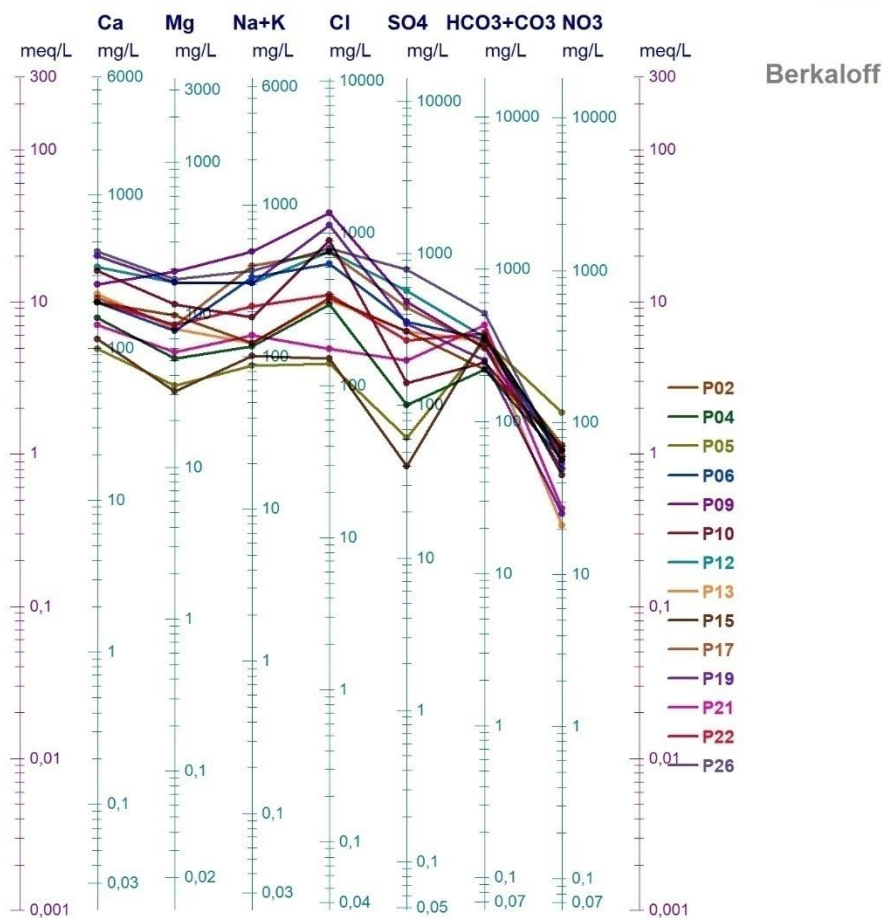




Figure III. 14 : Représentation des résultats d’analyses (14Puits) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff (2008).

Les échantillons d'eau prélevés dans les puits (36Puits) présentent un seul faciès :

 Chlorure et sulfate calcique et magnésienne

Les ions dominants sont les Chlorure et sulfate pour les anionset le calcium et magnésienne pour cations. Les ions s'ordonnent selon les formules caractéristiques de la manière suivante :

 Pour le faciès Chlorure et sulfate calcique et magnésienne
 $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$

III.8.3. Classification des eaux souterraines selon diagramme de Stiff :

Le diagramme de Stiff permet de regrouper et de comparer des échantillons d'eau en fonction de la forme des polygones correspondants. Il permet également d'étudier l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps et dans l'espace, par exemple lorsque l'eau traverse différentes formations géologiques ou subit différentes conditions de surface. Ce diagramme permet, entre autres, de déterminer les ions dominants dans l'eau et de déduire l'origine des eaux.

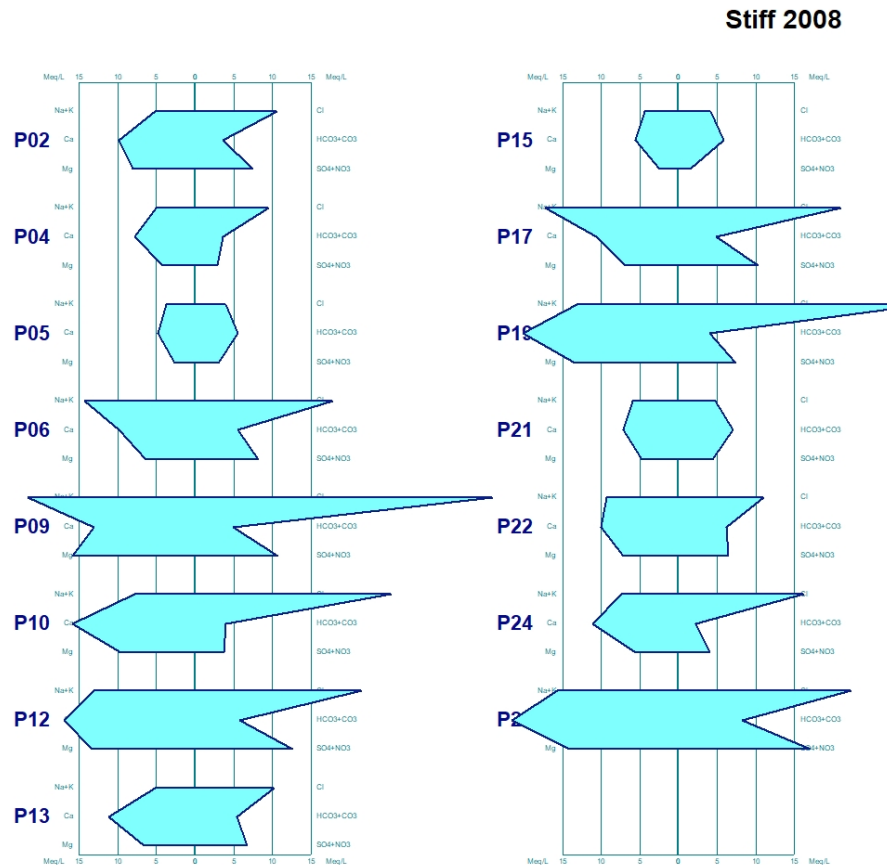


Figure III. 15 : Représentation des résultats d’analyses selon le diagramme de Stiff (2008).

Selon les propriétés de l'eau du forage dans la région de Chlef, les points sont principalement regroupés sur les losanges des familles :

Tableau III. 16 : Familles d’eau en région de Chlef.

Eau souterraine minéralisée	Eau souterraine faiblement minéralisée	Eau typique de rivières	Eau typique de mer et océans	Eau thermale
P40-P41-P42-	P02-P04-P05- P06-P08-P13- P31-P33-P35- P37-P38-P43- P44-P46-P47	P15-P21-P28- P34-P48-P50	P09	P10-P12-P17-- P19-P22-P24- P26-P29-P32- P36-P51

III.8.4. Classification des eaux souterraines selon diagramme de Stabler ou de collins :

Le diagramme de Stabler est une représentation utilisée pour évaluer la contribution de chaque espèce ionique à la somme cationique ou anionique d'une solution. Les valeurs sont données en milliéquivalents par litre (meq/L).

Ce diagramme est fréquemment utilisé pour effectuer rapidement des déterminations sur divers titres d'eau, tels que l'alcalimétrie, l'hydrotimétrie et les sels d'acides forts. Pour ce faire, deux colonnes ou barres de même longueur sont utilisées pour représenter les concentrations des anions et des cations. Les concentrations sont présentées en pourcentage. Les variations sur le diagramme sont utilisées pour visualiser les différentes déterminations des titres.

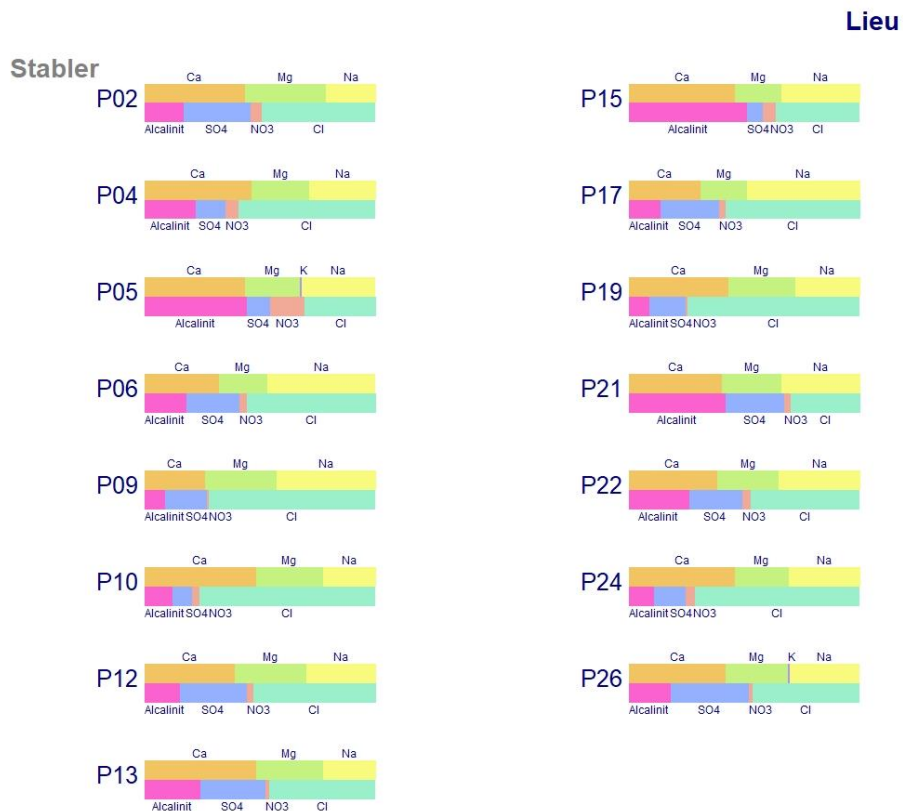


Figure III. 16:représentation du diagramme des résultats d'analyse de Stabler (2008).

Tableau III. 17 : Interprétation de diagramme de stabler.

Facies	Sulfaté calcique	Bicarbonaté calcique	Chlorure Calcique	Chlorure Magnésienne	Chlorure sodique
Puits	P43	P05-P15-P35-P40-P44-P46-	P02-P04-P06-P08-P10-P12-P13-P19-	P41	P09-P17-P51

		P48-	P21-P22-P24-P26- P28-P29-P31-32-P34- P35-P36-P37-P38- P42-P50		
Diagrammes					

III.9. La capacité des eaux souterraines à être utilisées pour l'irrigation :

III.9.1. Conductivité électrique : (mesuré à 25°C) :

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la capacité de la substance ou de la solution à conduire un courant électrique. La conductivité électrique des eaux souterraines étudiées augmente avec la température et dépend également de la quantité de TDS. Les résultats des mesures effectuées sur les échantillons à 25 °C d'eau sources étudiées révèlent des conductivités variantes entre 610µS/cm (P34 année 2009) et 6800 µS/cm (P09 année 2010), ce qui indique que ces eaux présentent une salinité moyenne à forte, allant jusqu'à une très forte salinité.

Tableau III. 18 : Classification de conductivité (BADAOU, 2019).

Classe	Conductivité électrique (CE) µs/cm	Classification
C1	<250	Eaux sans sal
C2	250-750	Eaux salines moyenne
C3	750-2250	Eaux riches en sel
C4	2250-5000	Les eaux sont très salines
C5	5000-20000	Eaux saturés

La conductivité mesurée de nos eaux souterraines (36Forages) appartient aux classe C3, C4 et C5 qui se traduit que sont aptes à l'irrigation.

- C3 : 24 Puits (66.67%) à fort salinité.
- C4 : 10 Puits (27.78%) à très fort salinité.
- C5 : 1 puit (2.78%) à excessive salinité.

Remarque : sur puits 13 change chaque année classe sauf année 2014 et 2016.

Tableau III. 19 : Classification des puits.

Année	C1	C2	C3	C4	C5
2008			P04-P05-P15-P21	P02-P06-P10-P12-P13- P17-P19-P22-P24-P26	P09
2009		P34	P04-P13-P21-P28-	P02-P08-P09-P10-P12-	

			P33	P19-P24-P29-P31-P32-P35	
2010			P04-P13-P21-P34	P10-P12-P19-P24-P35-P36	P08-P09
2011		P13	P04-P21-P34-P37	P08-P09-P10-P12-P19-P24-P35-P36-P38-P40	
2012			P04-P13-P21-P34	P10-P12-P19-P32-P35-P36-P37-P38-P40-P41	P09
2013			P04-P21-P34-P42-P43-P50	P08-P10-P12-P13-P19-P32-P35-P37-P38-P44-P46-P47-P48	
2014			P21-P50	P09-P10-P12-P19-P32-P35-37-P38-P40	P13
2016			P04-P21-P34	P08-P09-P10-P12-P19-P24-P31-P32-P35-37-P40-P51	P13

III.9.2.1. Diagramme de Richards ou Riverside (taux d'absorption du sodium SAR) :

Pour déterminer la capacité des eaux souterraines de la région de Chlef à être utilisées pour l'irrigation, nous avons utilisé la méthode de l'alcalinité S.A.R (taux d'absorption du sodium). Pour mieux comprendre cette capacité, nous avons utilisé l'équation suivante pour calculer la quantité de sodium adsorbé (SAR):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{III-11}$$

Tableau III. 20 : Classification de SAR (BADAOU, 2019).

SAR	Classification
SAR <10	Risque d'alcalinité est faible.
SAR=10 à 18	Risque d'alcalinité est moyen.
SAR = 18 à 26	Risque d'alcalinité est élevé.
SAR > 26	Risque d'alcalinité est très élevé.

Table III. 21 : Calcul du SAR pour les puits étudiés année (2008).

Puits	SAR
P02	1,741025
P04	2,057198
P05	1,885738
P06	5,028139
P09	5,653768
P10	2,190695

P12	3,34815
P13	1,745062
P15	2,127999
P17	5,807936
P19	3,18729
P21	2,455767
P22	3,127811
P24	2,550885
P26	3,606961

Interprétation :

Tous les résultats des analyses des puits dont la valeur SAF varie entre P13=0,25 meq (2013) et P09=12,01 meq (2016) et ont tous les résultats inférieure 10 meq , ce qui suggère que le risque d'alcalinité est faible , sauf résultant de Puits 09 {P09= 12.01meq(2016) et P09=10,16 meq(2010)}entre 10maq et18meq ,donc le risque d'alcalinité est moyen dans ce Puits .

Tableau III. 22 : Interprétation des diagrammes.

Degré	Qualité	Classe	
1	Excellente	C1S1	La plupart des eaux sont utilisables sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2S1 C1S2	L'eau peut être utilisée sans contrôle pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur des sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3S1 C2S3 C3S2	L'eau convient à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. Toutefois, il est important de surveiller l'évolution de la salinité de l'eau au fil du temps.
4	Médiocre	C4S1 C4S2 C3S3	Une eau fortement minéralisée peut convenir à l'irrigation de certaines espèces végétales bien tolérantes aux sels, à condition que le sol soit bien drainé.
5	Mauvaise	C3S4 C4S3 C4S4	En général, l'eau ne convient pas à l'irrigation, mais elle peut être utilisée sous certaines conditions. Il est préférable que le sol soit très perméable, qu'il y ait un bon lessivage, et que les plantes utilisées soient très tolérantes au sel

La méthode de l'alcalinité SAR (taux d'absorption du sodium) est basée sur la concentration totale des sels dissous et le pourcentage de sodium par rapport aux autres sels de l'eau. Le pourcentage de sodium peut être calculé en utilisant la formule suivante.

$$Na(\%) = \frac{NA+K \left(\frac{meq}{l}\right)}{Na+Ca+K+Mg \left(\frac{meq}{l}\right)} * 100 \quad \text{III-12}$$

Tableau III. 23 : Classification de Na (%).

Na (%)	Catégorie
<20	Excellente
20 à 40	Bonne
40 à 60	Admissible
60 à 80	Médiocre
80>	Mauvaise

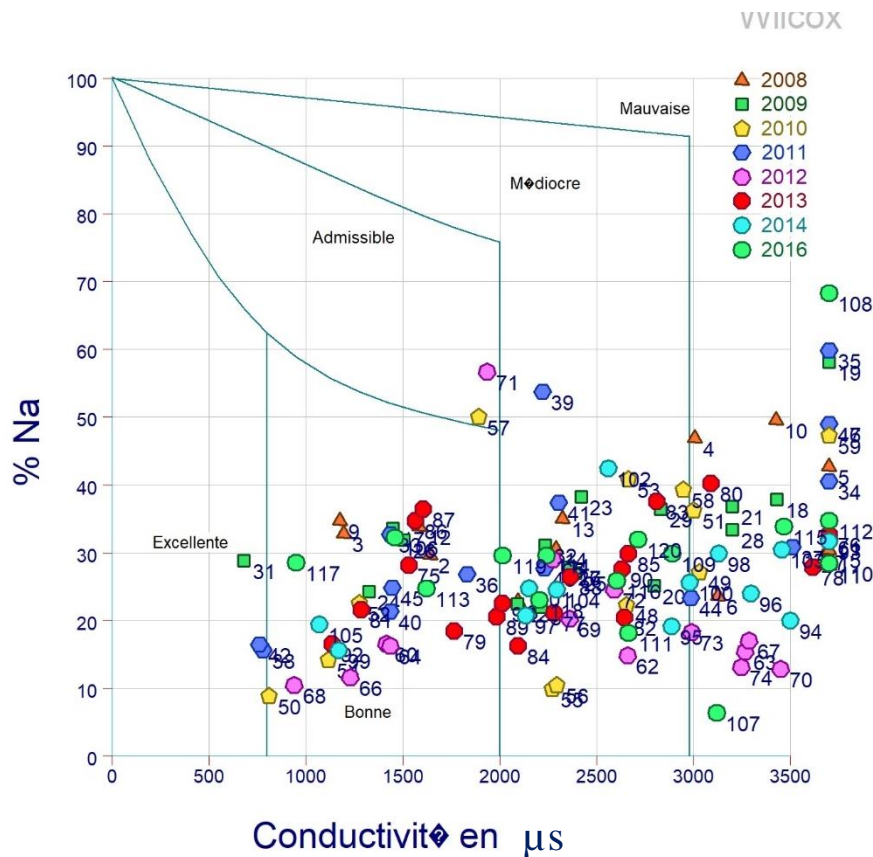


Figure III. 19 : Diagramme de Wilcox selon méthode de Pourcentage de sodium %Na.

Interprétation :

On générale Il y 3 Catégorie existe dans le diagramme de Wilcox :

- Eau bonne catégorie
- Eau Médiocre catégorie
- Eau Mauvaise catégorie

III.9.3. Calculer les indices de l'eau pour l'utilisation agricole :

III.9.3.1 Indice de perméabilité (PI) :

Selon des recherches récentes (YOUNSI, 2001), un certain nombre de facteurs influencent la perméabilité du sol, tels que la quantité totale d'eau, la quantité de sodium, la quantité de bicarbonates et la nature du sol. L'indice de perméabilité (PI), qui a été défini par Donen en 1964, est une formule qui a été créée pour combiner ces trois termes.

Calculé à l'aide d'une formule :
$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na}$$
 III-13

Les unités de Na^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2} sont exprimées en meq/l.

Si :

- ◆ PI supérieur à 75 % : l'eau est appropriée pour l'irrigation.
- ◆ 25 % à 75 % : l'eau peut être utilisée sous certaines conditions.
- ◆ PI inférieur à 25 % : l'eau n'est plus utilisable.

Tableau III. 24 : Résultat de PI % et interprétation (2008).

Points d'eau	PI	Qualité
P02	30,69331	Admissible
P04	40,66482	Admissible
P05	53,23944	Admissible
P06	54,58851	Admissible
P09	47,02923	Admissible
P10	29,43193	Admissible
P12	35,62116	Admissible
P13	32,72984	Admissible
P15	54,06238	Admissible
P17	55,91866	Admissible
P19	32,37182	Admissible
P21	48,59163	Admissible
P22	44,38965	Admissible
P24	36,95648	Admissible
P26	35,63651	Admissible

Les résultats de l'indice de perméabilité montrent une variation allant de 12.79% à 79.58%, avec une moyenne de 46.18%. Ces résultats indiquent que la majorité des forages étudiés sont

admissibles pour l'irrigation. Cependant, il y a 09 puits : P35-P36(année 2011) et P12-P10-P32-P36-P41(année2012) et P10(année 2014) et P8(année 2016). Dont les valeurs d'indice de perméabilité sont inférieures à 25%, les rendant non utilisables pour ce type d'activité.

- 66.67% acceptable pour l'irrigation.
- 33.33% n'est plus utilisable pour l'irrigation.

III.9.3.2 Nitrate :

Sur la base de la compression de la concentration de NO₃ (Consultez le tableau III.13 ci-dessous). Tableau III.13 contient : La capacité des eaux étudiées est basée sur le niveau de nitrate : le NO₃-(méq/l) est de 5 à 5 et le NO₃-(méq/l) est de 30 à 40. 30 Qualité II n'y a pas de toxicité Moderne toxicité extrême Les nitrites ont des valeurs inférieures de 0.01 méq/l à 1.78 méq/l.

III.9.3.3MagnésiumHazard (risque) :

Dans l'eau, le calcium et le magnésium sont équilibrés. Cependant, une concentration élevée de magnésium dans l'eau peut altérer la qualité des sols et réduire les rendements agricoles. La nature alcaline du magnésium peut modifier le pH du sol et affecter la disponibilité des nutriments pour les plantes. Par conséquent, pour éviter les effets négatifs sur la productivité agricole, la concentration de magnésium dans l'eau utilisée pour l'irrigation doit être surveillée attentivement (Szaboles and Darab 1964) (BENSEDJAD, 2011) (BENSEDJAD.A, 2011).

Calculé par l'équation : $MH = \frac{Mg}{Ca+Mg} * 100$ **III-14**

Les valeurs de Na⁺, Ca²⁺et Mg²⁺ sont exprimées en meq/l. Avec :

- ✓ Si l'eau de MH est supérieure à 50%, elle est inadaptée à l'irrigation.
- ✓ Si MH est inférieur à 50%, cela est approprié. Très utile pour l'irrigation.

D'après les valeurs du tableau III.25, la variation des valeurs de MH se situe entre 5,27 % (valeur minimale) et 64,04 % (valeur maximale), avec une moyenne de 34,65 %. Ces résultats indiquent que 91,67% des forages présentent une eau convenable en termes de Magnésium Hazard (MH), tandis que 8,34 % des forages présentent une eau non convenable selon ce critère.

Tableau III. 25 : Résultats de MH des forages étudiés (2008).

Points d'eau	MH	Qualité
P02	45,31741	Eau convenable
P04	34,88099	Eau convenable
P05	36,39035	Eau convenable
P06	39,3789	Eau convenable
P09	54,75265	Eau ne conviennent pas
P10	37,6866	Eau convenable
P12	44,15066	Eau convenable
P13	37,25002	Eau convenable
P15	31,14702	Eau convenable
P17	39,29297	Eau convenable
P19	40,01018	Eau convenable
P21	39,82816	Eau convenable
P22	41,48807	Eau convenable
P24	33,78434	Eau convenable
P26	39,49346	Eau convenable

III.9.3.4 Kelly's ratio (KR) (kelly 1946):

Le rapport de Kelly, qui compare les concentrations de sodium, de calcium et de magnésium, peut également être utilisé pour évaluer l'aptitude de l'eau à l'irrigation. Le rapport de Kelly est utilisé pour comparer le sodium au calcium et au magnésium (BENSEDJAD.A, 2011).

$$\text{Calculé par l'équation : } KR = \frac{Na}{Ca+Mg} \quad \text{III-15}$$

Les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en méq/l.

Si $KR > 1$ eau ne conviennent pas à l'irrigation, mais

Si $KR < 1$, l'eau il est convenable à l'irrigation.

Selon la classification basée sur le Kelly Ratio (KR), les valeurs obtenues pour les points d'eau étudiés varient entre 2,14 meq/l et 0,06 meq/l, avec une moyenne de 1,1 meq/l. Ces valeurs indiquent que tous les points d'eau analysés sont considérés comme convenables pour l'irrigation, sauf : P09(2009 et 2010), P19(2010), P37(2012), P08(2016).

Table III. 26 : Résultats de KR des forages étudiant année (2008).

Points d'eau	KR	Qualité
P02	0,290361	Convenable
P04	0,419376	Convenable
P05	0,480898	Convenable
P06	0,880663	Convenable
P09	0,7423	Convenable
P10	0,306479	Convenable
P12	0,429534	Convenable
P13	0,291709	Convenable
P15	0,525795	Convenable
P17	0,979169	Convenable
P19	0,389252	Convenable
P21	0,506014	Convenable
P22	0,535514	Convenable
P24	0,439989	Convenable
P26	0,427291	Convenable

III.10. Représentation cartographique de l'évolution de la qualité via la Considération pH, conductivité, et dureté totale :

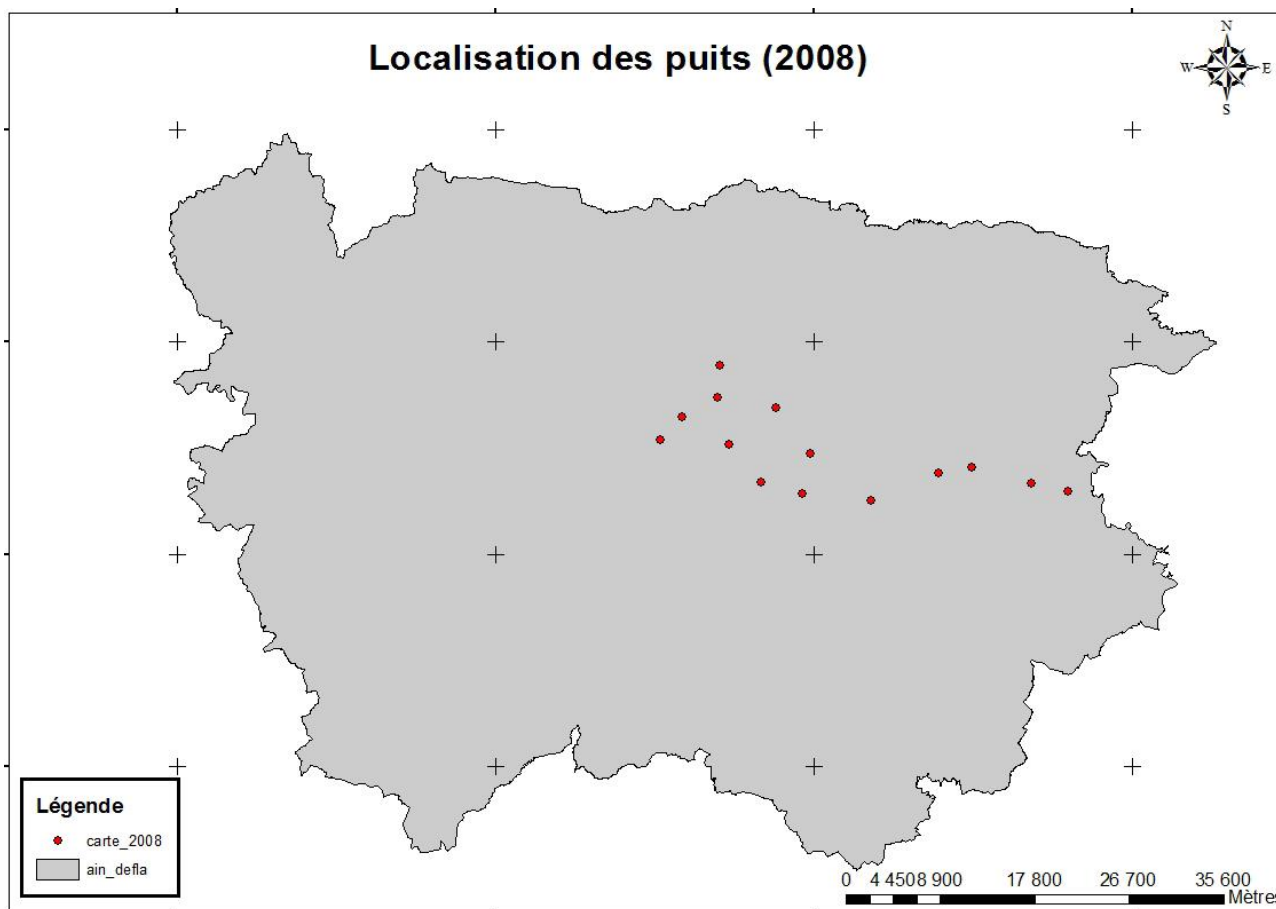


Figure III. 20 : Localisation des puits.

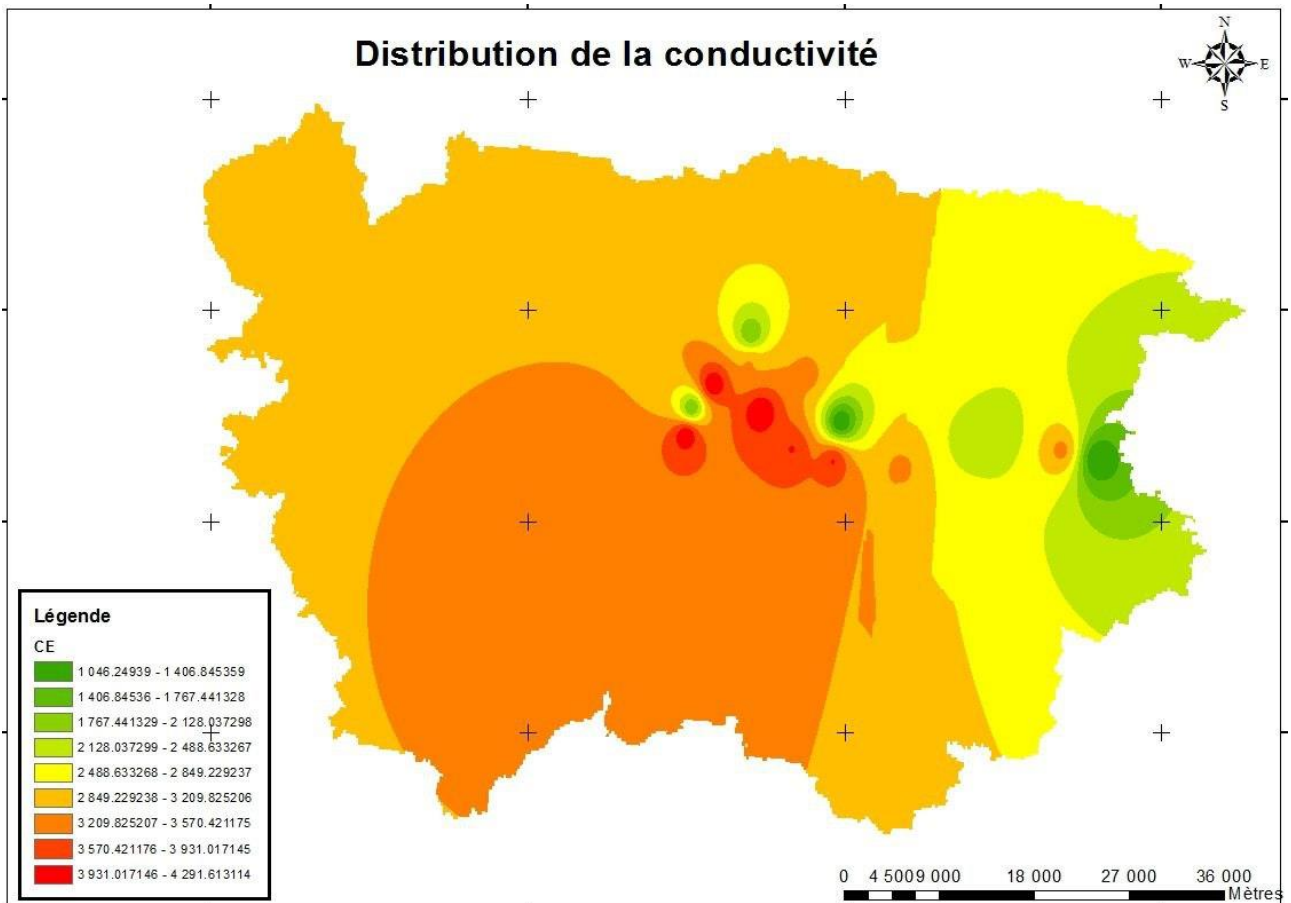


Figure III. 21 : Distribution de la conductivité.

Les cartes de distribution de la conductivité électrique dans la région de chelif montrent que les puits de le Sud-Ouest de la région et le ont des Valeurs élevées de conductivité. En comparant les puits , on peut noter une augmentation de la conductivité dans la zone Sud-Ouest à par rapport à la zone Nord-Est.

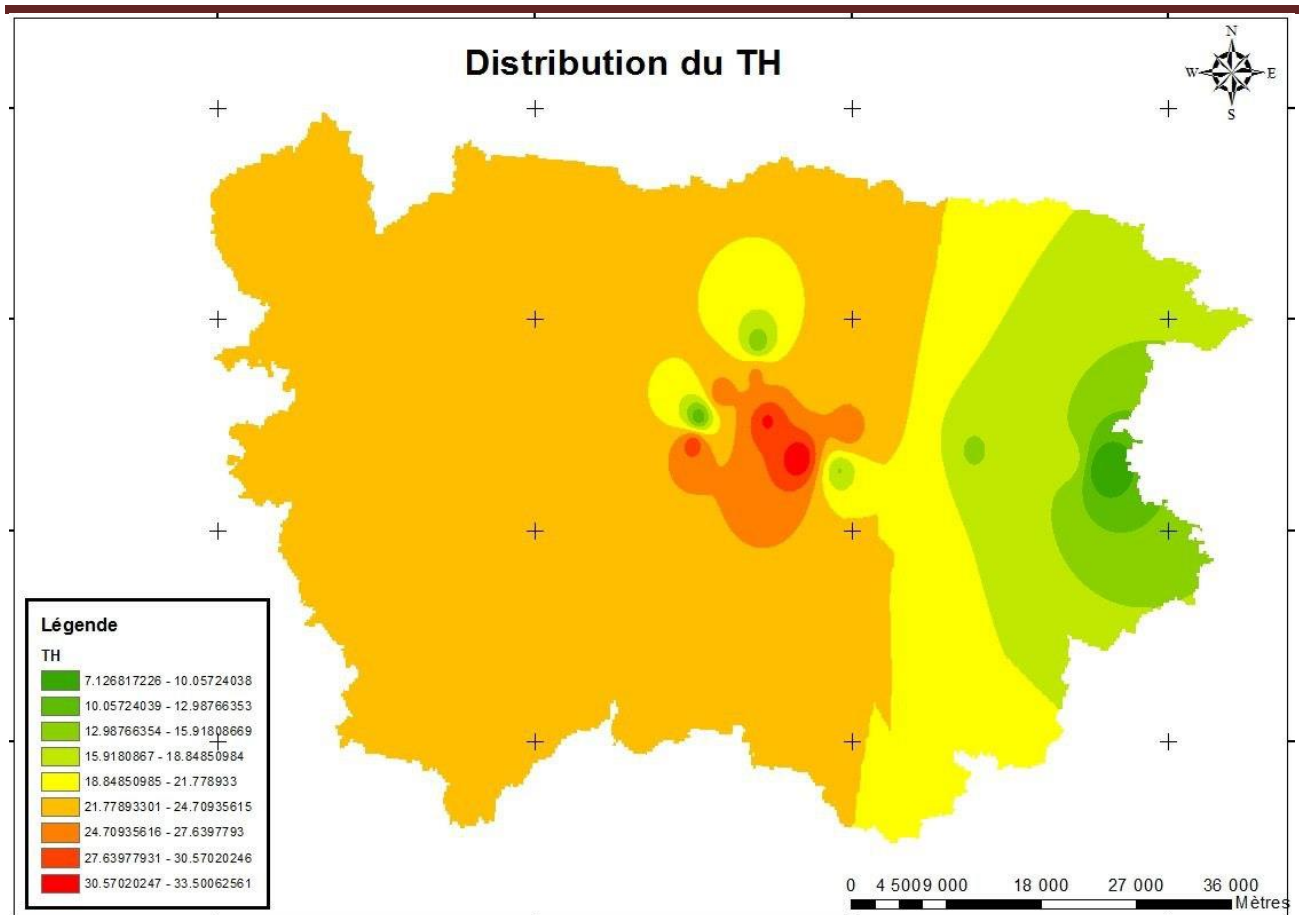


Figure III. 22 : Distribution du TH.

L'analyse de la cartographie de distribution de la dureté des eaux analysées de la région de Chlef pendant les années 2008 montre augmente dans l'Ouest pour l'Est et qu'elle est très élevée dans centre de région par rapport aux autres régions.

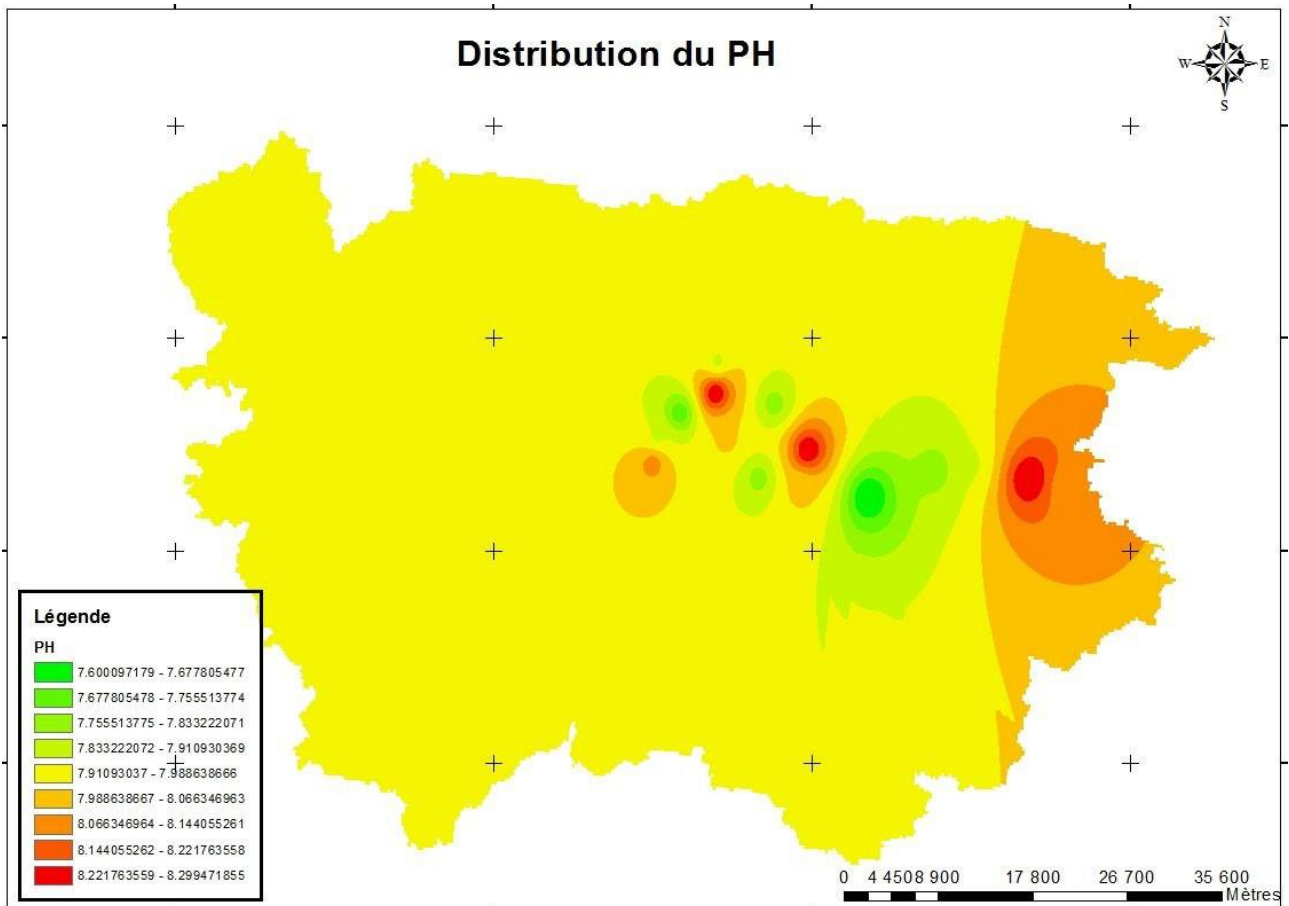


Figure III. 23 : Distribution du pH.

Le pH selon les normes algériennes doit être entre (6.5 à 9), bien que l'analyse de la carte de distribution de ce paramètre dans la région de Chlef, montre que les valeurs varient à l'échelle de la région mais sans écart notables, et que les valeurs augmentent dans l'Est et centre par rapport à l'Ouest.

Conclusion :

Dans notre étude nous avons pu identifier plusieurs caractéristiques de l'eau dans la région de Chlef, parmi eux se trouvent ces propriétés physico-chimiques cette paramètre n'pas constant sur tout la région. Un pH de 7.1 à 8.8 et une conductivité électrique de 610 μS^{-1} P34 (dans année 2009) à 6800 μS^{-1} et une température de 25°, Cela signifie que les eaux conductrices sont caractérisées par une forte teneur en minéraux. Et une dureté de 24°F et 1465°F, cela signifie que cette eau très dure.

Dans notre étude, nous avons des puits qui conviennent à la consommation et d'autres qui ne le sont pas consommation, en raison de la présence de forte concentration de les élément majeur.

Nous pouvons classer les éléments majeurs dans quelque puit :

- Magnésiennes : toutes les analyses ont prouvé que le concentration le magnésium dans les normes algérienne à l'exception de certains puits qui ont d'passé les normes :P12.P19.P26 dans année 2008 et P08.P12 dans année 2010 et P32.P40.P41 dans année 2012 et P08.P12.P51 dans année 2016.
- Nitrates : la plupart des résultats ont indiqué qu'il y une forte concentration dépasse les normes de potabilité sauf (P8. P13.P15. P21.P33. P41.P42. P43.P44. P47.P48. P50). Cette puits le teneur de nitrate respect les normes de potabilité

Les analyses chimiques prouvent sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, Stiff, Stabler elle y a une seul faciès chimiques dominants :

- Chlorure et sulfate calcique et magnésienne

Ces faciès n'ont pas changé.

L'irrigation dans la zone de Chlef, en Algérie, est un sujet d'étude important en raison de l'importance de l'agriculture dans cette région. La région de Chlef, également connue sous le nom de Chlef, est située dans la partie nord-ouest du pays et bénéficie d'un climat méditerranéen. Les précipitations y sont relativement faibles et variables, ce qui rend l'irrigation essentielle pour soutenir l'agriculture locale. Par conséquent, dans notre étude déterminer le teneur de la salinité des eaux souterraines. Nous avons des puits qui conviennent à l'irrigation et d'autres qui ne le sont pas irrigation, en raison de la présence de forte concentration de les élément majeur.

- D'après les valeurs de conductivité de l'eau de cette région, elle peut être classée dans la classe 3 en termes de conductivité électrique : eau à fort salinité et eau à très fort salinité et eau à excessive salinité.
- À travers Représentations des analyses chimiques de l'eau sur les diagrammes de Wilcox log et Riverside et Wilcox II y deux classes eau existe dans cette région :
 - L'eau convient à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. Toutefois, il est important de surveiller l'évolution de la salinité de l'eau au fil du temps.
 - Une eau fortement minéralisée peut convenir à l'irrigation de certaines espèces végétales bien tolérantes aux sels, à condition que le sol soit bien drainé.

Conclusion générale

L'étude menée dans la région de Chlef avait pour objectif d'évaluer la qualité des eaux souterraines de cette zone. Pour ce faire, des analyses ont été réalisées sur 36 puits différents sur une période de 8 ans. Les caractéristiques de l'eau et sa validité pour la consommation humaine et l'irrigation ont été étudiées dans le cadre de cette recherche.

Les paramètres physico-chimiques de chaque puits ont été examinés afin de déterminer dans quelle mesure ils étaient conformes aux normes de potabilité en Algérie. Ces paramètres peuvent comprendre la turbidité (qui mesure la clarté de l'eau), le pH (qui indique l'acidité ou l'alcalinité de l'eau), la conductivité électrique (qui mesure la capacité de l'eau à conduire l'électricité), ainsi que les niveaux de différents ions tels que le sodium, le calcium, le magnésium, le chlorure, le sulfate, et d'autres éléments chimiques.

En analysant ces paramètres, il est possible de déterminer les faciès chimiques de chaque puits, c'est-à-dire la composition chimique caractéristique de l'eau souterraine prélevée dans ces puits. Ces faciès chimiques fournissent des informations sur les types de minéraux et d'ions présents dans l'eau et permettent de mieux comprendre sa qualité et son adéquation à différents usages.

Là où cette étude a prouvé la différence dans les eaux de cette région, dont certaines sont potables, et d'autres sont propres à l'irrigation, nous avons pu identifier ces types grâce à un logiciel de diagramme. On dépendait l'eau potable sur Piper et Schoeller-Berkaloff et stiff et stabler. On obtenu les résultats suivants:

- Cette eau caractérise par un seul faciès chimique (Chlorure et sulfate calcique et magnésienne)
- Pour réinterprétation de diagramme de Siffra marguerite d'eau de région de Chlef regroupe pour les familles : Eau souterraine faiblement minéralisée et Eau thermale et Eau typique de rivières

Quant à l'étude de la validité de ces puits pour l'abreuvement, nous nous sommes appuyés sur Wilcox log et Riverside et Wilcox nous avons donc obtenu les résultats suivants :

L'étude a ainsi permis d'évaluer la conformité de chaque puits aux normes de potabilité algériennes, en prenant en compte les différents paramètres physico-chimiques et les faciès chimiques de l'eau. Cela permet de déterminer si l'eau des puits étudiés est adaptée à la consommation humaine et à l'irrigation, en termes de sécurité et de qualité.

Bibliography

Bibliography

A

- A, HAKMI. (2006). Traitement de l'eau de source Bousfer Oran, Mémoire de licence.
- ADSORPTION, A. C. (2019). de Meenakshi Goyal et Bhupendra Gupta (2019).
- AEAG. (2012). . Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex 4,. Agence de l'Eau Adour-Garonne, p. 5p.
- AHONON A.S. (2011). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du TOGO : cas du Canton de la vie,. Master international, environnement eau et santé, Université de Lome, TOGO,, p. 35p.
- ALIOUANE S. (2010). Aliouane S. Caractérisation des eaux des barrages (Tiledit) et (Lekhal) de la wilaya de Bouira (Algérie) destinée à la consommation humaine. Mémoire de Master : Biodiversité, Ecologie, Environnement,, p. p19.
- ALL, AMALRIC . (2003). Baran N., Jeannot R., Marti JC., Mouvet C. Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux., pp. BRGM/RP-51590-FR, 116 p.
- ANRH. (s.d.). Agence Nationale des ressources hydrique, Alger.
- ART. (s.d.). <http://www.lesoirdalgerie.com/articles/2013/09/17/article.php?sid=154252&cid=41>.
Récupéré sur
<http://www.lesoirdalgerie.com/articles/2013/09/17/article.php?sid=154252&cid=41>.
- AYAD, W. (2017). Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harroch (Wilaya de Skikda), Thèse doctorat en microbiologie appliquée, Université Badji Mokhtar-Annaba,, pp. p3-4.

B

- BADAOU. (2019). Etude qualitative des eaux souterraines de la région de Bouira. . Mémoire de master : RESSOURCES HYDRAULIQUES Université de bouira .
- BEAUDOIN B. (2012). Problématique éco toxicologique actualisée des fluorures dans les eaux municipales, Centre universitaire de formation en environnement, Québec, Canada,, p. 98p.
- BENAMAR N ET ALL. (2011). Étude de la biodiversité et de la pollution. le cas de l'oued Cheliff, Colloque international, Usages.
- BENSEDJAD.A. (2011). Aptitude des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbas à des fins d'irrigation. Mém. Ing. Univ. Tlemcen. Algérie. pp. . p23-45.
- BOEGLIN. (2009). Propriétés des eaux naturelles, Technique de l'ingénieur, traité environnement,, pp. G1, 110p.
- BOULAIN. (1956). cartes des sols des plaines du Chellif au 1/50 000, Feuilles. 1 à 5 inspection génération de l'Agriculture du Gouvernement générale de l'Algérie.
- BOURRIER R., S. B. (2011). technique de la gestion et de la distribution de l'eau, Edition Moniteur, Paris,, pp. PP : 353-402.

BOUZADA. (2013). Caractérisation géochimiques des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation dans les plaines du chéouiff, Mémoire magister.

BOUZIANI M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, p. 247p.

BRAGA, .. C. (2004). Fundamentals of Analytical Chemistry (8th ed.). Thomson Learning.

BREMAUDE C. ET ALL. (2006). Alimentation, santé,.

C

CEE. (2009). Directives /54/CE du parlement Européen et du conseil du 18 juin 2009 relative a l'exploitation et à la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles, Journal officiel de l'Union Européenne, L164/45 du 26/06/2009].

CHLEF.A.B.H. (2004). cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Cheliff aval du barrage de Boughzoul,.

CIE. (2013, août mercredi 7). Centre d'Information sur l'Eau. Le cycle naturel de l'eau, p. 6p.

COLLIN J.J. (2004). Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs.

D

DALILA. (2009). Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de Ain djasser est Algérien. Thèse de magister, Université Batna, p. 156 p.

DCW. (s.d.). direction commerce de wilaya de chlef .

DEGREMONT. (2005). Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc. pp. PP : 3- 38.

DEMDOUM A. (2010). Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, Doctorat d'état, Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri Constantine, p. 205p.

DIB I. (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, pp. , 127 p.

DOUAOUI, A. (2005). Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de plaine du Bas-chéouiff : Apport de la géostatistique et de la télédétection, Thèse Doctorat D'état, INA d'agler.

DREVER. (1982). The geochemistry of natural waters: Surface and groundwater environments. Prentice-Hall.

Drever, J. I. (1982). Drever, J. I. (1982). The geochemistry of natural waters: Surface and groundwater environments. Prentice-Hall.

DRINAN, ". o. (2013). de Frank R. Spellman et Joanne Drinan.

F

formation, .. S. (2016). (Session de du IAP HASSI MESSAOUD).

G

G, DEGREMONT. (2005). Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. Tec et.

G,BERIERE. (2000). Distribution et collecte des eaux, 2^{ème} édition, Ecole polytechnique de Montréal,. pp. PP: 3-19.

GAËTAN, ELIE SERGE. (2005). Caractérisation hydro chimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages dans la boucle du mouhoun provinces des banwa, des balles, du mouhoun et de la kossi (BURKINA FASO). Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue, p. 60.

Getting. (s.d.). Getting the picture. Récupéré sur our changing climate - [http://gettingthepicture.info/3/;](http://gettingthepicture.info/3/).

H

H, B FIAMBSCHE. (1998). Chang from chlorine residual distribution to no chlorine residual.

HIBA. (2022). caractérisation des eaux souterraines de la région de Boumerdes.

I

Inc., M. G. (2012). Water Treatment Principles and Design. Wiley.

J

JEAN, L. (2002). La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau, Edition. Ministère.

JERRY S ET Y. MAYSTRE. (s.d.). Jerry Spiegel et Lucien Y. Maystre. l'environnement ;partie L'environnement Chapitre 55 - La lutte contre la pollution de l'environnement).

JORA. (2011). qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers. Journal Officiel de la République Algérienne Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.

K

KETTAB. (1992). Traitement des eaux, Les eaux potables, Edition : Office des Publications Universitaires, Alger,. Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines : Souterraines aux forages manuels,.

L

L, ANDRIAMIRADIS. (2005). Mémento technique de l'eau, 2^{ème} édition, Degremon. p. P: 8.

l'eau, ". p. (2019). sources, impacts, réglementation", IFREMER, 2019.

L'EAU, L. P. (2019.). sources, impacts, réglementation", IFREMER,.

M

M.PARIZOT. (2008). PARIZOT M. (2008). Contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Guyane conformément à la Directive Cadre Européenne sur l'Eau : saison des pluies. Rapport final BRGM/RP-56890-FR.

MYRAND. (2008). Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec,. p. P04.

N

NA. (1992). Algériennes, Normes. 1^{ère} édition, Ed EX. INAPI. IANO, pp. PP : 5-7.

O

- OMS. (2004). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol 1. Directives.,
ONM. (2011). Office National de Météorologie.

R

- R, DESJARDINS. (1997). Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal.,
R. BOUCHENEB. (2018). « cours économie de l'eau ».
RODIER ET ALL. (2009). L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod., p. 1579p.
RODIER J. ET ALL. (2005). L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod., Rodier J., Legube B.,
Merlet N., p. 1579p.
RODIER.ET.ALL. (2009). L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod., p. 1579p.
RQTA, M. (2010). Variabilité spatio-temporelle de la salinité dans la plaine du Bas chélib -
établissement d'une Banque de Données .Thèse Magister.UHBC.
RYZNAR, J. W. (1944, novembre 09). « A New Index for Determining Amount of Calcium
Carbonate Scale Formed by a Water », Journal AWWA, vol. 36, no 4, 1944, (ISSN 1551-
8833, DOI 10.1002/j.1551-8833.1944.tb20016.x, lire en ligne [archive]. , consulté le, pp. p.
472–483.

S

- SALIM, F. (2014). Localisation et caractérisation des zones de source de pollution des ressources en
eau de la ville de Biskra à l'aide de SIG. .mémoire de master : Science de l'eau.
SAURET, ELIE SERGE GAËTAN. (2005). Caractérisation hydro chimique et qualité des eaux.
SAVARY 2010, BOUZIANI 2000. (s.d.). L'eau de la pénurie aux maladies,. Edition ibn khaldoun.,
p. 247p.
Schöller, E. &. (1948). The biochemistry of cellular respiration. AnnualReview of Biochemistry,
17(1), 595-624.
SCHÖLLER, E. &. (1948). The biochemistry of cellular respiration. AnnualReview of
Biochemistry., pp. 17(1), 595-624.
SEVESC. (2013). Service de l'Eau. Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau
potable de Versailles et Saint Cloud., p. p11.
SKOOG, D. A. (2014). Fundamentals of Analytical Chemistry (9th ed. Cengage Learning.
SOFRECO. (2010). Etude d'actualisation des eaux du plan national de l'eau ,Volet 2: reussoures en
eau souterraine ,Tome 2: monographie des aquifères, L'Union Européenne.
SOUTERRAINES, P. D. (2018). comprendre pour mieux protéger", Agence de l'eau Rhône
Méditerranée Corse.,

T

- Todd, D. K. (2004). Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons.

TOURAB H. (2013). Contribution à l'étude de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plein du haouz. .mémoire de licence : eau et environnement, p. 82P.

Treatment, ". (2012). Principles and Design" de MWH .

TREATMENT, B. W. (2007). Principles, Modelling and Design de Marcos Von Sperling (2007).

TREATMENT, W. A. (2008). A Guide for the Nonengineering Professional" de Joanne E. Drinan.

TREATMENT, WATER. (2012). Principles and Design" de MWH.

TREATMENT, WATER. (2012). Principles and Design" de MWH.

U

UNICEF. (1999). Manuel sur l'eau. pp. N°2, PP : 42-43. .

UNWATER. (s.d.). unwater. Récupéré sur http://www.unwater.org/downloads/Water_facts_and_trends.pdf.

W

WASTEWATER, E. .: (2011). Design Principles and Practice" de Mackenzie L. Davis et Susan J. Masten.

WATER, c. (2020, février 13). Encyclopædia Britannica. Récupéré sur Encyclopædia Britannica, Inc., n.d. Web.

WISSAM, A. (2017). « évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux).

X

XIMBA, O. (2014). Piper Diagram for Groundwater. CC BY-SA 4.0.

Y

Yacono, X. (1955). Colonisation des plaines du chéiff (de Lavigerie au confluent de la mina) Tome 1, Imprimerie Imbert, Alger.

YOUNSI. (2001). Méthodologie de mise en évidence des mécanismes de salures des eaux souterraines côtières en zone semi-aride irriguée. Chaouia côtière, Maroc. Thèse de doctorat d'état, Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc.

Annexes

Tableau III.1 : Caractères physiques des eaux de forages de la région de Chlef (ADE 2016)

Année2009							
Points d'eau	Nappe	Nature	Année	CE(μ S-)	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P02	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2400	1596	7,7	19,4526
P04	Cheliff	PUITS	24/11/2009	1480	1126	7,5	9,699217
P08	Cheliff	PUITS	24/11/2009	3570	2756	8	22,52271
P09	Cheliff	PUITS	24/11/2009	4610	3401	7,4	19,68195
P10	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2740	1867	7,5	22,00559
P12	Cheliff	PUITS	24/11/2009	3110	2046	7,5	20,39971
P13	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2170	1520	7,6	17,97142
P19	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2270	1643	7,7	15,91423
P21	Cheliff	PUITS	24/11/2009	1450	1166	7,9	10,15526
P24	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2520	1570	7,8	19,14892
P28	Cheliff	PUITS	24/11/2009	1 450	1 089	7,8	10,6718
P29	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2 400	1 596	7,7	19,4526
P31	Cheliff	PUITS	24/11/2009	3 420	3 307	7,7	24,01023
P32	Cheliff	PUITS	24/11/2009	3 170	1 995	7,7	20,63171
P33	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2 190	1 640	8,1	18,95357
P34	Cheliff	PUITS	24/11/2009	610	452	7,5	4,777405
P35	Cheliff	PUITS	24/11/2009	2 300	1 792	7,6	17,09069

Année2010							
Points d'eau	Nappe	Nature	Année	CE(μ S-)	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P04	Cheliff	PUITS	2010	1510	1078	8,09	10,30298
P08	Cheliff	PUITS	2010	5150	3719	8,1	25,25079
P09	Cheliff	PUITS	2010	6800	3767	7,9	23,47084
P10	Cheliff	PUITS	2010	2200	1405	7,8	14,47859
P12	Cheliff	PUITS	2010	4600	3310	8	27,06928
P13	Cheliff	PUITS	2010	900	583	7,8	6,264408
P19	Cheliff	PUITS	2010	2650	1798	8,2	11,05022
P21	Cheliff	PUITS	2010	1700	971	8,3	11,7797
P24	Cheliff	PUITS	2010	2800	2182	8,3	15,08495
P34	Cheliff	PUITS	2010	768	593	8,3	6,067802
P35	Cheliff	PUITS	2010	2 650	1719	8,3	16,1939
P36	Cheliff	PUITS	2010	3 900	2363	8,3	25,39822

Année2011							
Points d'eau	Nappe	Nature	Année	CE(μ S-)	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P04	Cheliff	PUITS	2011	1512	1215	7,7	10,53535
P08	Cheliff	PUITS	2011	4300	2749	7,7	22,25407
P09	Cheliff	PUITS	2011	4850	3619	7,6	21,04949
P10	Cheliff	PUITS	2011	3160	2314	7,6	21,67379
P12	Cheliff	PUITS	2011	3600	1974	7,6	22,45898
P13	Cheliff	PUITS	2011	735	469	7,6	8,381578
P19	Cheliff	PUITS	2011	3130	2098	7,4	20,88065
P21	Cheliff	PUITS	2011	1292	919	7,6	10,12817
P24	Cheliff	PUITS	2011	2700	1838	7,6	16,51261
P34	Cheliff	PUITS	2011	1200	773	7,7	9,903092
P35	Cheliff	PUITS	2011	2510	1985	7,5	24,81881
P36	Cheliff	PUITS	2011	3110	2113	7,4	23,14805
P37	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2011	2180	1325	8,8	10,02468
P38	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2011	3100	2204	7,5	19,21634
P40	Cheliff	PUITS	2011	4000	3202	7,4	21,73752

Année2012							
Points d'eau	Nappe	Nature	Année	CE(μ S-)	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P04	Cheliff	PUITS	2012	1501	1002	7,6	13,26026
P09	Cheliff	PUITS	2012	5310	4066	7,6	33,9577
P10	Cheliff	PUITS	2012	2850	2098	7,35	24,27906
P12	Cheliff	PUITS	2012	3780	2413	7,6	33,08468
P13	Cheliff	PUITS	2012	1500	1110	8,3	12,68223
P19	Cheliff	PUITS	2012	3000	2001	7,6	17,63715
P21	Cheliff	PUITS	2012	1224	878	7,8	12,3354
P32	Cheliff	PUITS	2012	3800	2461	7,9	30,88563
P34	Cheliff	PUITS	2012	1000	624	7,5	8,839781
P35	Cheliff	PUITS	2012	2450	1497	7,9	19,86212
P36	Cheliff	PUITS	2012	4000	2937	7,5	34,46725
P37	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2012	2430	1771	8,7	8,824466
P 38	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2012	2970	1727	7,8	22,07059
P40	Cheliff	PUITS	2012	3400	2538	7,7	27,76644
P41	Cheliff	PUITS	2012	4080	3002	8	30,86207

Année2013							
Points d'eau	Nappe	Nature	Année	CE(µS-)	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P04	Cheliff	PUITS	2013	1800	979	8	10,93353
P08	Cheliff	PUITS	2013	5000	3386	7,4	27,69081
P10	Cheliff	PUITS	2013	2800	1836	7,4	20,91038
P12	Cheliff	PUITS	2013	4700	3144	7,3	26,86793
P13	Cheliff	PUITS	2013	2200	1498	7,7	16,92612
P19	Cheliff	PUITS	2013	3800	2584	7,5	18,99495
P21	Cheliff	PUITS	2013	1500	1042	7,5	10,67872
P32	Cheliff	PUITS	2 013	3 500	1152	7,5	25,37615
P34	Cheliff	PUITS	2013	1 500	910	7,5	7,632461
P35	Cheliff	PUITS	2013	3 500	2100	7,5	19,59804
P37	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2013	2 600	1405	7,5	19,13302
P38	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2013	2 930	1902	7,5	21,51878
P42	Cheliff	PUITS	2013	1 800	978	8,0	9,89514
P43	Cheliff	PUITS	2013	1 700	1108	7,9	9,850538
P44	Cheliff	PUITS	2013	3 000	1777	7,3	19,64265
P46	Cheliff	PUITS	2013	2 080	1576	7,8	17,2298
P47	Cheliff	PUITS	2013	2 880	2295	7,4	22,06771
P48	Cheliff	PUITS	2013	2 400	1509	7,5	17,40866
P50	Cheliff	PUITS	2 013	1 300	729	7,4	9,731601

Année2014							
Points d'eau	Nappe	Nature	Année	CE(µS-)	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P08	Cheliff	PUITS	2014	4750	2515	7,5	27,68816
P09	Cheliff	PUITS	2014	4980	2926	8,1	29,27548
P10	Cheliff	PUITS	2014	3450	2142	7,3	26,80846
P12	Cheliff	PUITS	2014	4080	2501	7,3	28,45687
P13	Cheliff	PUITS	2014	2350	1521	7,8	19,80031
P19	Cheliff	PUITS	2014	3650	2256	7,7	24,34837
P21	Cheliff	PUITS	2014	1369	834	7,3	11,35557
P32	Cheliff	PUITS	2 014	3 620	2412	7,4	26,05197
P35	Cheliff	PUITS	2014	2 580	1659	7,3	18,26127
P37	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2014	2 720	1691	8,3	15,3388
P38	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2014	4 060	2508	7,3	27,51402
P40	Cheliff	PUITS	2014	2 720	2186	7,2	19,83961
P50	Cheliff	PUITS	2014	1 313	791	7,1	8,914027

Année2016							
Points d'eau	Nappe	Nature	Année	CE(µS-)	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P04	Cheliff	PUITS	2016	1798	1094	7,9	10,8363
P08	Cheliff	PUITS	2016	4310	2793	8	31,12181
P08	Cheliff	PUITS	2016	3950	3069	8	15,75197
P10	Cheliff	PUITS	2016	3270	1839	7,6	21,54295
P12	Cheliff	PUITS	2016	3950	3337	7,8	33,57811
P13	Cheliff	PUITS	2016	3230	1929	8,3	25,20927
P19	Cheliff	PUITS	2016	4220	2867	8,1	29,54112
P21	Cheliff	PUITS	2016	1807	1192	7,9	13,94524
P24	Cheliff	PUITS	2016	3 300	1573	8,3	17,26341
P31	Cheliff	PUITS	2 016	1 045	2864	8,3	26,37384
P32	Cheliff	PUITS	2 016	3 300	2063	7,8	22,75024
P34	Cheliff	PUITS	2016	1 045	606	8,1	7,1203
P35	Cheliff	PUITS	2016	2 340	1591	7,9	18,47686
P37	H.Chéiff	PIEZOMETRE	2016	2 340	1834	7,8	15,26768
P40	Cheliff	PUITS	2016	3 400	2174	8	21,27696
P51	Cheliff	FORAGE	2016	4 250	2686	7,7	26,61642

Tableau III.2 : Caractères chimiques des eaux de forage de la région de Chlef (ADE 2016)

2009		ParamétrrChimique							
		Cation				Anion			
Points d'eau	Code	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l
P02	W084-72	248	86	171	2,4	407,5	366	300,73	38
P04	W084-166	135	36	111	2,4	240	107	298,9	61
P08	W084-80	265	113	315	2,3	812,5	425	304,39	27
P09	W084-155	246	90	625	6,4	1020	580	381,86	3
P10	W084-14	314	77	169	2,2	750	134	284,26	69
P12	W084-63	234	106	260	23,2	750	450	228,75	39
P13	W084-91	248	68	117	4,5	317	387	319,03	27
P19	W084-	248	43	226	1,8	462,5	251	376,98	53

	169								
P21	W084-196	126	47	74	1,7	143	230	312,32	31
P24	W085-20	265	72	161	3,1	545	180	287,615	51
P28	W084-93	138	46	113	3	198	181	315	68,0
P29	W084-72	248	86	171	2	408	366	301	38,0
P31	W084-56	308	105	276	3	593	615	312	17,0
P32	W084-73	237	107	257	24	428	535	375	44,0
P33	W084-107	238	86	121	4	338	291	572	21,0
P34	W085-38	71	15	43	3	71	42	164	57,0
P35	W085-6	232	67	176	3	423	149	390	95,0

2010		Paramètre Chimique							
		Cation				Anion			
Points d'eau	Code	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l
P04	W084-166	130,9	45,8	114	2	226	110	280,6	56
P08	W084-80	218,2	174,5	393	7,1	925	582,5	271,45	17
P09	W084-155	247,3	135,3	800	6,1	1390	457,5	265,35	46
P10	W084-14	218,2	43,6	120	3,9	375	138	208,925	73
P12	W084-63	261,8	170,2	276	3,5	832,5	437,5	306,525	33
P13	W084-91	88,9	22,2	18	14,6	60	166	183	3
P19	W084-169	148,1	44,4	295	0,2	350	320	268,4	48
P21	W084-196	144,4	55,6	73	0,2	200	187	352,275	17
P24	W085-20	170,4	80	206	2,2	500	187	293,715	54
P34	W085-38	63	36	26	2	71	57	229	66,0

P35	W085-6	193	80	141	3	493	156	340	83,0
P36	W085-14	308	122	175	4	660	480	227	23,0

2011		Paramétrer Chimique							
		Cation				Anion			
Points d'eau	Code	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l
P04	W084-166	160	31	79	1,5	250	120	286,7	67
P08	W084-80	286	97	485	9,2	845	635	286,7	36
P09	W084-155	280	86	465	2,1	975	625	244	67
P10	W084-14	309	76	142	2,5	630	237,5	280,6	91
P12	W084-63	300	91	191	2	742,5	385	244	51
P13	W084-91	102	40	12	11,4	67	127	189,1	10
P19	W084-169	303	70	272	1,7	757,5	230	198,25	56
P21	W084-196	137	40	67	1,9	116	194	381,25	34
P24	W085-20	166	100	261	2	522,5	192	228,75	270
P34	W085-38	116	50	36	2,5	60	272	213,5	69
P35	W085-6	250	150	61	2,5	442,5	163	335,5	145
P36	W085-14	327	83	60	3,5	540	125	341,6	70
P37	PZ 1 A	97	63	229	2,5	215	150	701,5	3
P38	PZ 3 A	268	71	284	3,5	550	480	305	59
P40	W084-182	274	98	445	4	847,5	440	335,5	9

2012		Paramétrer Chimique							
		Cation				Anion			
Points d'eau	Code	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l
P04	W084-166	177,8	53,3	60	1,2	109	122	549	75

P09	W084-155	311,1	224	370	4,8	1290	567,5	305	82
P10	W084-14	266,7	133,3	96	2,7	675	134	274,5	150
P12	W084-63	320	208	138	2,5	740	442,5	335,5	42
P13	W084-91	122,2	80	47	16,7	140	346	274,5	9
P19	W084-169	155,6	120	164	2	425	200	427	69
P21	W084-196	88,9	96	36	2,2	85	185	427	24
P32	W084-73	311,11	186,67	143	4,1	630	622,5	457,5	37
P34	W085-38	117,8	36	23	1,3	95	76	244	83
P35	W085-6	213,3	112	115	1,5	520	147	366	118
P36	W085-14	444,4	149,3	116	1,4	812,5	497,5	305	83
P37	PZ 1 A	88,9	53,3	265	1,2	177	243	671	2
P 38	PZ 3 A	240	122,7	164	1,7	442,5	425	335,5	82
P40	W084-182	222,2	202,7	136	10,5	565	475	457,5	62
P41	W084-22	266,7	213,3	105	4,3	780	530	274,5	18

2013		Paramétrer Chimique							
		Cation				Anion			
Points d'eau	Code	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l
P04	W084-166	135	51	83	26	248	150	305	54
P08	W084-80	390	100	300	17	905	475	350,75	21
P10	W084-14	297	74	120	15	362,5	340	350,75	66
P12	W084-63	390	90	230	14	930	404	381,25	26
P13	W084-91	232	65	70	30	149	406	381,25	5
P19	W084-169	285	58	267	48	757,5	179	335,5	88
P21	W084-	120	57	60	13	118	163	427	25

	196								
P32	W084-73	370	84	141	15	375	550	412	24,0
P34	W085-38	148	3	153	9	140	130	320	80,0
P35	W085-6	274	72	267	6	620	240	397	0,0
P37	PZ 1 A	235	90	70	26	260	260	763	1,0
P38	PZ 3 A	296	82	200	18	463	433	320	41,0
P42	W083-48	101	59	112	15	238	227	305	24,0
P43	W083-41	110	53	120	17	262	158	351	44,0
P44	W083-40	265	78	153	15	333	468	381	27,0
P46	W083-52	215	79	94	14	377	127	427	55,0
P47	W083-56	307	82	186	13	375	550	366	34,0
P48	W083-110	273	46	109	13	400	160	336	38,0
P50	W084-110	134	37	36	14	150	63	351	49,0

2014		Paramétrer Chimique							
		Cation				Anion			
Points d'eau	Code	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l
P08	W084-80	385	103	290	8,6	1070	462,5	298,9	12
P09	W084-155	430	95	165	5,8	897,5	412,5	366	45
P10	W084-14	402	82	143	4,2	740	198	250,1	65
P12	W084-63	407	99	204	3,3	785	392	329,4	20
P13	W084-91	283	69	107	20	288	460	292,8	12
P19	W084-169	356	80	237	2,5	890	130	195,2	41
P21	W084-196	155	44	46	3,3	82	148	414,8	23
P32	W084-	372	91	203	6	595	440	339	26,0

	73								
P35	W085-6	267	60	136	3	381	129	378	150,0
P37	PZ 1 A	187	73	250	16	298	445	686	37,0
P38	PZ 3 A	398	93	273	6	888	230	351	37,0
P40	W084-182	264	81	147	3	398	284	427	24,0
P50	W084-110	144	21	47	4	168	47	290	27,0

2016		Paramètre Chimique							
		Cation				Anion			
Points d'eau	Code	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l
P04	W084-166	154,5	38,0	118	1	193	125	335,5	63
P08	W084-80	329,9	178,1	46	6	890	257	305	43
P08	W084-155	205,9	66,5	775	5	962,5	550	335,5	78
P10	W084-14	342,9	53,9	210	0,4	775	225	198,25	22
P12	W084-63	354,6	193,0	306	2	950	462	335,5	53
P13	W084-91	416,3	53,9	125	6,4	605	300	289,75	15
P19	W084-169	420,6	103,9	360	1	900	348	457,5	61
P21	W084-196	189,7	54,4	105	1	192	210	427	18
P24	W085-20	253,1	56,3	166	0,5	437,5	216	366	38
P31	W084-56	325	124	310	1	695	493	397	61,0
P32	W084-73	285	104	181	3	418	370	458	64,0
P34	W085-38	127	10	65	0	102	78	214	68,0
P35	W085-6	261	66	126	1	340	409	320	57,0
P37	PZ 1 A	290	10	147	0	353	242	305	55,0
P40	W084-182	194	141	230	1	495	322	473	31,0
P51	W084-313	280	153	343	18	800	398	381	68,0

2009			
Σ Cation (meq/l)	Σ anion (meq/l)	IB(%) (meq/l)	Points d'eau
26,952	24,6582	4,44	P02
14,58879	14,88174	0,99	P04
36,28315	37,19373	1,24	P08
47,03137	47,15709	0,13	P09
29,41288	29,71938	0,52	P10
32,30236	34,90474	3,87	P12
23,17569	22,66512	1,11	P13
25,79063	25,30728	0,95	P19
13,41753	14,44252	3,68	P21
26,23125	24,659	3,09	P24
15,66627	15,61058	0,18	P28
26,952	24,6582	4,44	P29
36,07939	34,90237	1,66	P31
32,42177	30,04779	3,80	P32
24,30625	25,30198	2,01	P33
6,711725	6,486629	1,71	P34
24,82548	22,95268	3,92	P35

Tableau III.3 : Résultats de la balance ionique des analyses physico-chimie année(2009-2016)

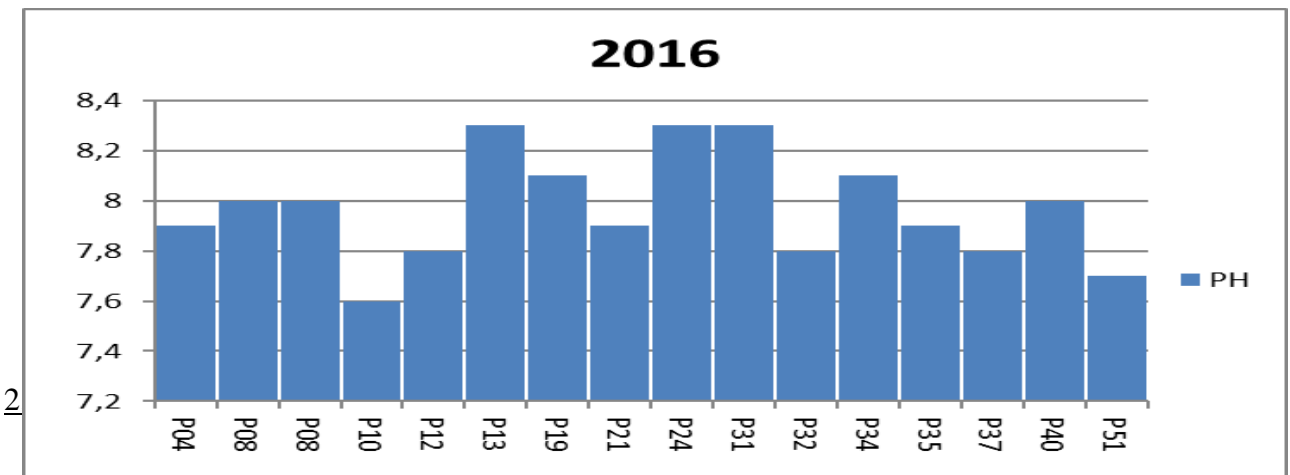
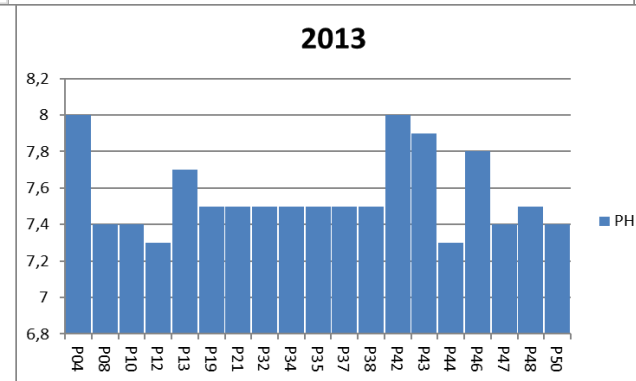
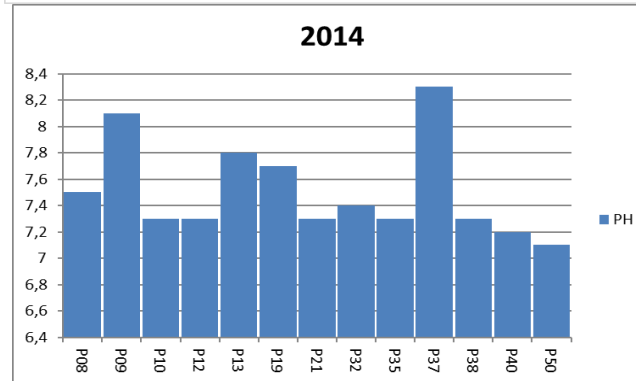
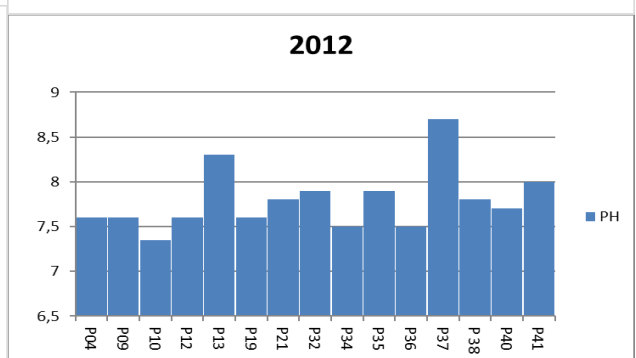
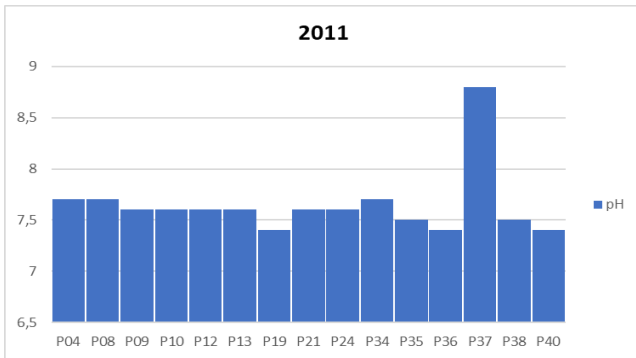
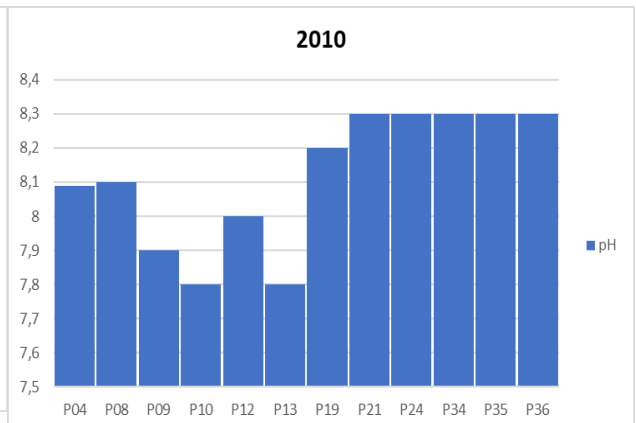
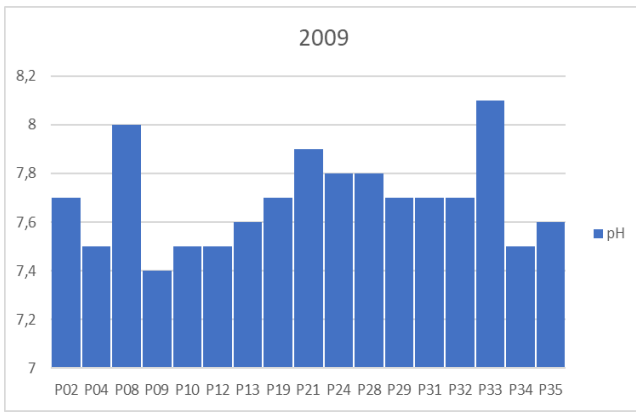
2010			
Σ Cation (meq/l)	Σ anion (meq/l)	IB(%) (meq/l)	Points d'eau
15,31281	14,16864	3,881008	P04
42,52677	42,94512	0,489459	P08
58,4246	53,82739	4,095438	P09
19,798	18,0539	4,60769	P10
39,16402	38,14993	1,311657	P12
7,420778	8,197085	4,970638	P13
23,887	21,70976	4,774993	P19
14,96011	15,58434	2,043691	P21
24,10163	23,68374	0,874522	P24
7,254998	8,014095	4,971465	P34
22,40884	24,04949	3,53143	P35
33,11253	32,70749	0,615377	P36

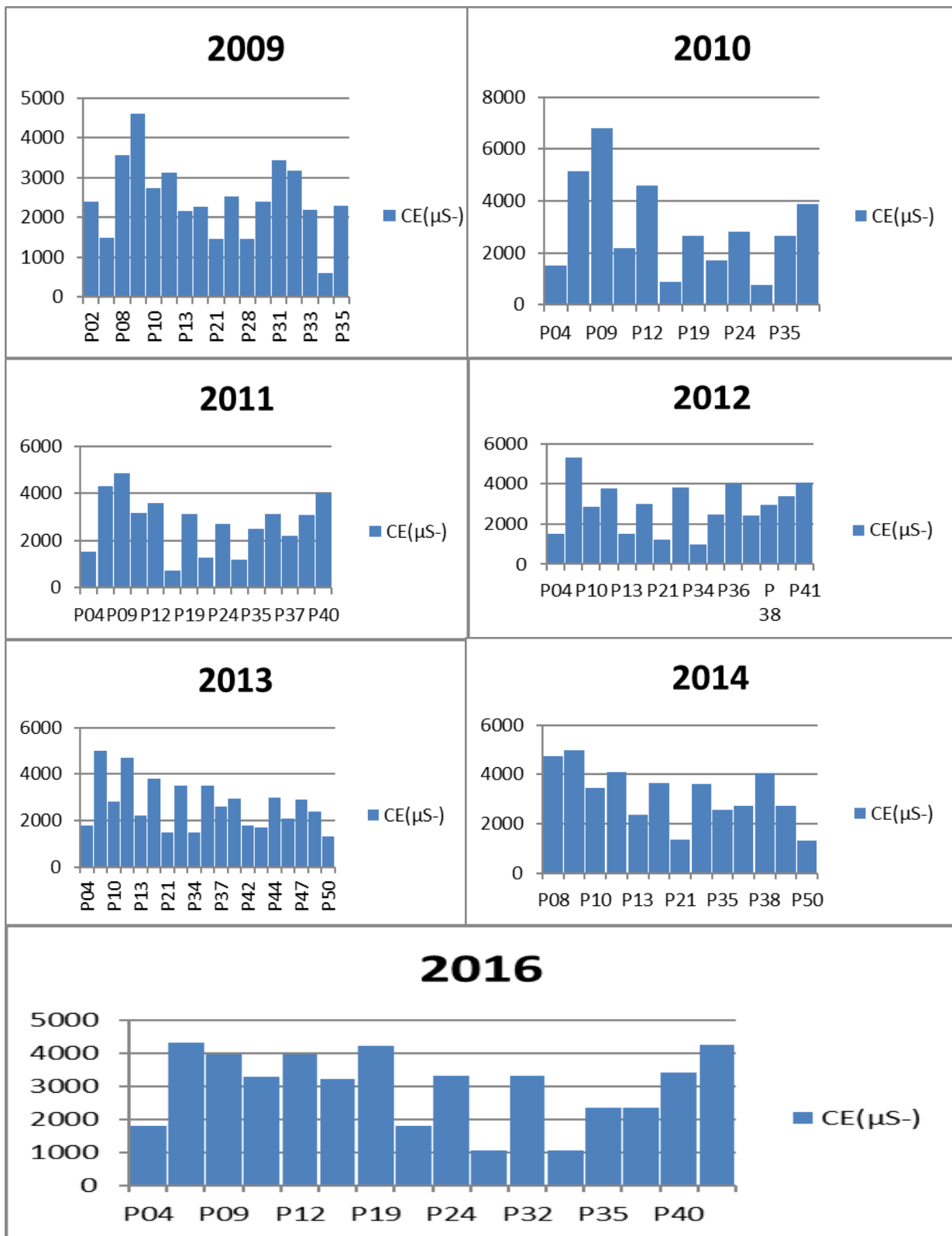
2011			
ΣCation (meq/l)	Σanion (meq/l)	IB(%) (meq/l)	Points d'eau
23,27369	21,74475	3,396265	P04
17,12822	16,16915	2,880299	P08
11,46223	12,6641	-4,98157	P09
30,70439	31,86699	1,85805	P10
50,58817	54,28901	3,52874	P12
33,42725	33,34692	0,120299	P13
43,50567	40,05846	4,125228	P19
23,18979	22,47771	1,559272	P21
12,54729	11,78993	3,111949	P24
34,86737	36,56012	2,36989	P34
46,64954	43,64264	3,330193	P35
17,78684	16,4872	3,791911	P36
26,26841	23,88796	4,746048	P37
24,22624	22,71756	3,21379	P38
	2013		P40
ΣCation (meq/l)	Σanion (meq/l)	IB(%) (meq/l)	Points d'eau
15,20879	15,98978	2,503297	P04
41,17477	41,50728	0,402156	P08
26,51369	24,1191	4,729342	P10
37,23036	41,3149	5,200238	P12
20,73822	18,9868	4,408869	P13
31,83638	32,01432	0,278681	P19
13,62104	14,12557	1,818334	P21
31,89291	29,16655	4,46508	P32
14,51772	13,19619	4,768474	P34
31,36525	28,9863	3,941822	P35
22,84281	25,26369	5,032319	P37
30,6786	27,96262	4,631506	P38
15,15047	16,82699	5,242806	P42
15,505	17,13998	5,008351	P43
26,68136	25,8088	1,662335	P44
21,67661	21,16597	1,191882	P46
30,49068	28,57784	3,238337	P47
22,48235	20,72765	4,060867	P48
11,65557	12,083216	1,801855	P50
ΣCation	Σanion (meq/l)	IB(%) (meq/l)	Points d'eau

2012			
ΣCation (meq/l)	Σanion (meq/l)	IB(%) (meq/l)	Points d'eau
15,90078	15,82451	0,240419	P04
50,17442	54,52739	4,157491	P09
28,52385	28,75018	0,395173	P10
39,15123	36,26488	3,827232	P12
15,15372	15,79822	2,082236	P13
24,82184	24,26568	1,132993	P19
13,95757	13,6366	1,163186	P21
37,21059	38,82893	2,128288	P32
9,873466	9,600885	1,399694	P34
24,90266	25,63236	1,443954	P35
39,54873	39,61642	0,085506	P36
20,38191	21,08454	1,694465	P37
29,24761	28,15359	1,90592	P 38
33,95061	34,32759	0,552127	P40
35,53925	37,82791	3,11946	P41
ΣCation (meq/l)	Σanion (meq/l)	IB(%) (meq/l)	Points d'eau
40,5223	44,9063	5,131777	P08
36,60086	40,63154	5,218899	P09
33,13598	30,14528	4,726044	P10
37,41469	36,02801	1,888114	P12
24,96604	22,69501	4,764946	P13
34,72114	31,67371	4,589847	P19
13,44084	12,56549	3,365918	P21
35,02769	31,9145	4,65056	P32
24,25362	22,05271	4,752939	P35
26,62999	29,51802	5,143603	P37
39,53453	36,17071	4,443317	P38
26,31809	24,51304	3,55107	P40
11,06582	10,90311	0,740629	P50

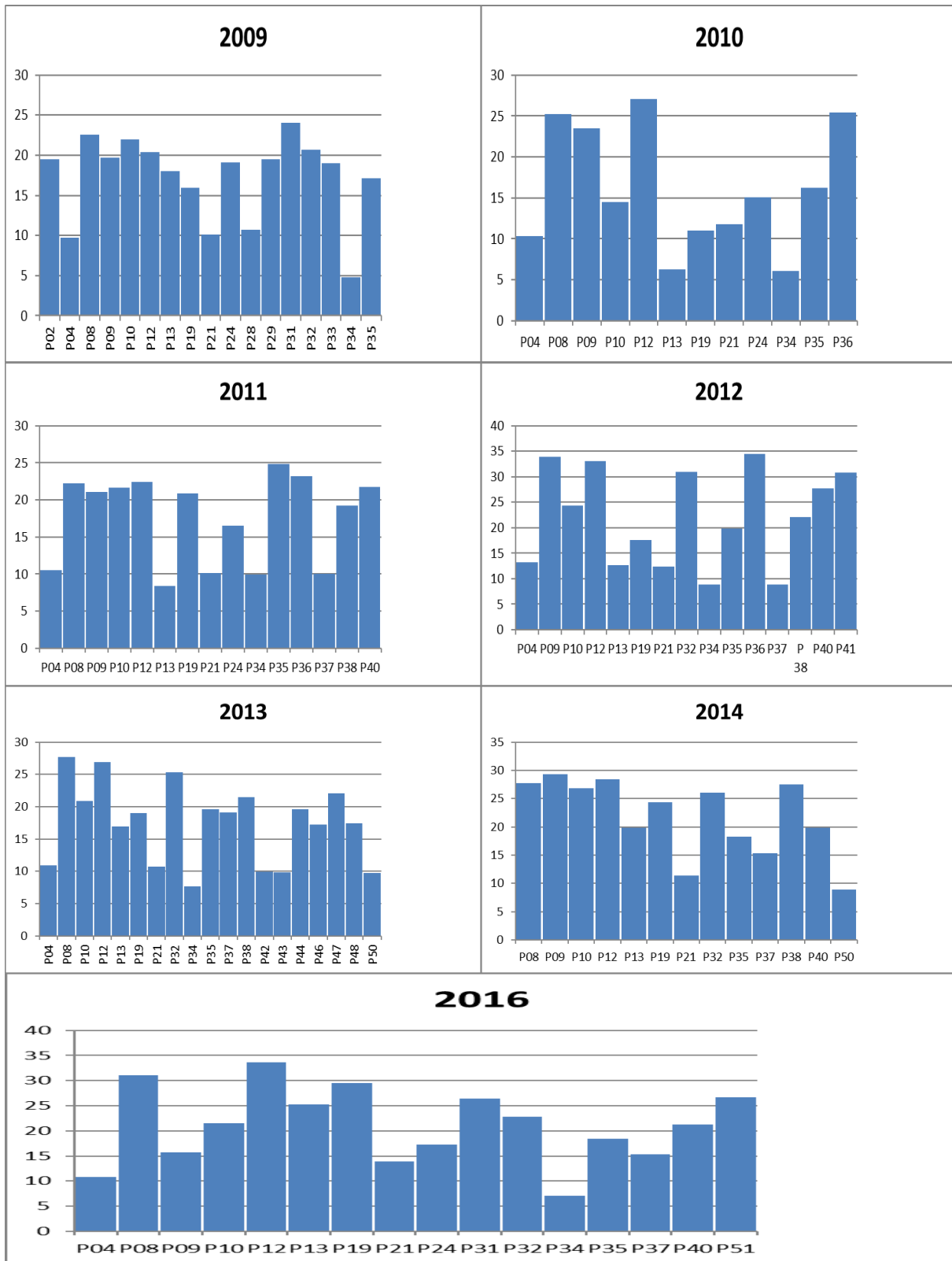
(meq/l)			
15,99454	14,56296	4,684894	P04
33,27614	36,15015	4,139659	P08
49,59016	45,36016	4,454963	P08
30,68758	30,15119	0,881669	P10
46,93939	42,77213	4,645178	P12
30,81011	28,30432	4,238869	P13
45,22568	41,11721	4,758315	P19
18,53802	17,07867	4,097372	P21
24,49673	23,45142	2,180087	P24
39,88354	37,35337	3,275856	P31
30,69996	28,01293	4,576559	P32
9,957847	9,098051	4,511969	P34
23,98308	24,27584	0,606637	P35
21,67199	20,8833	1,853335	P37
31,30688	28,91747	3,967518	P40
41,99633	38,20026	4,733459	P51

1. Variation du pH des forages étudiés

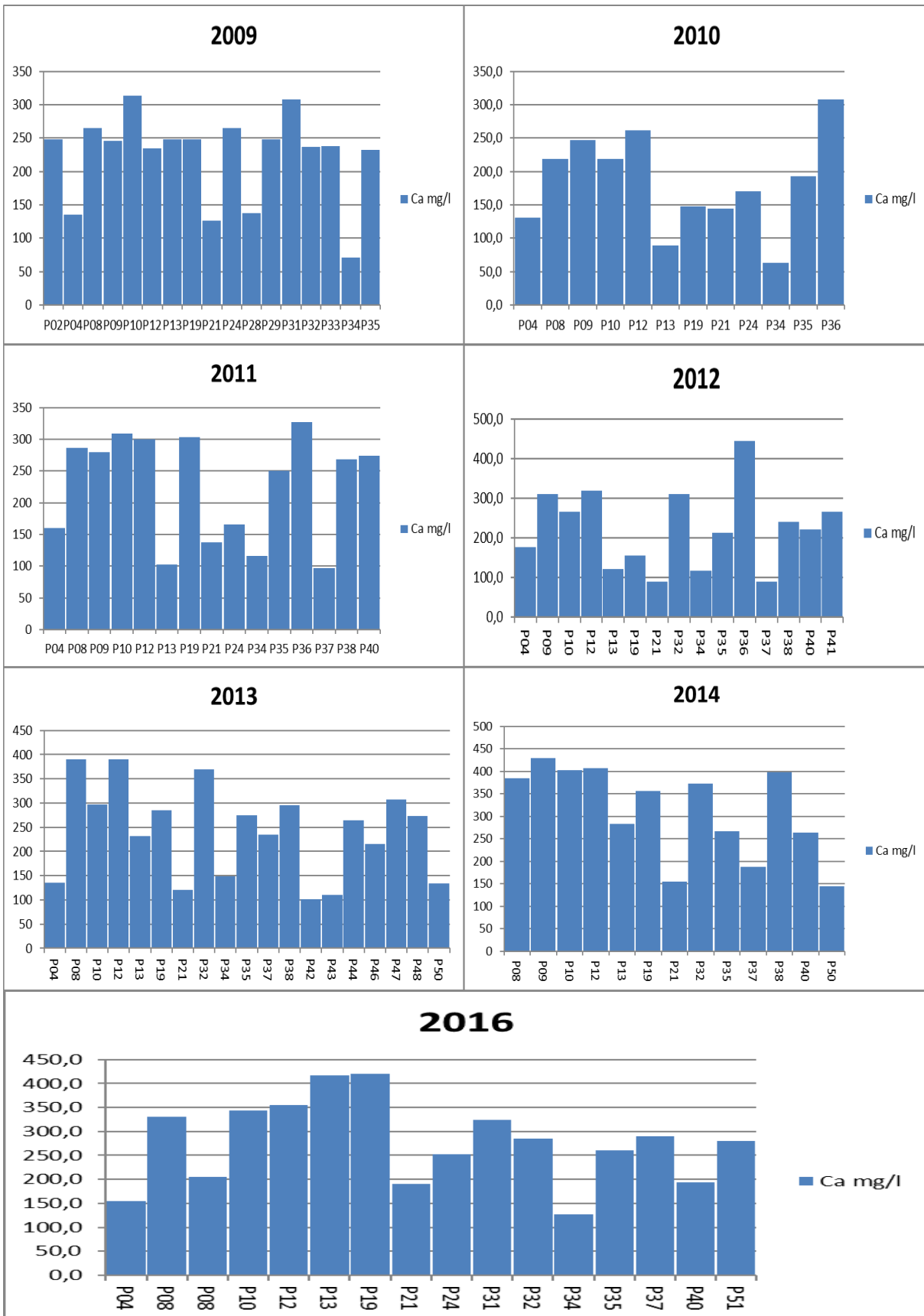




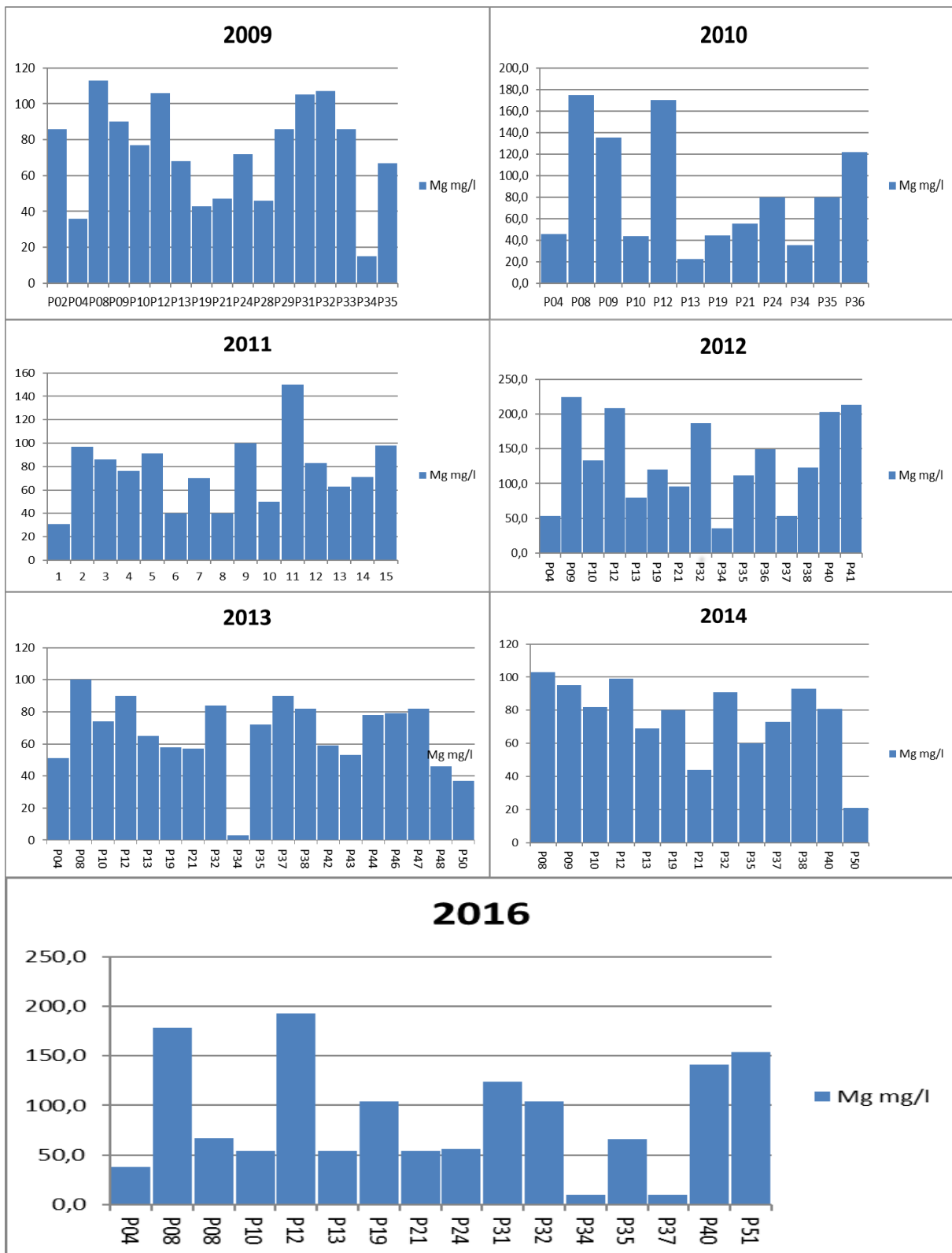
3. Variation de la dureté



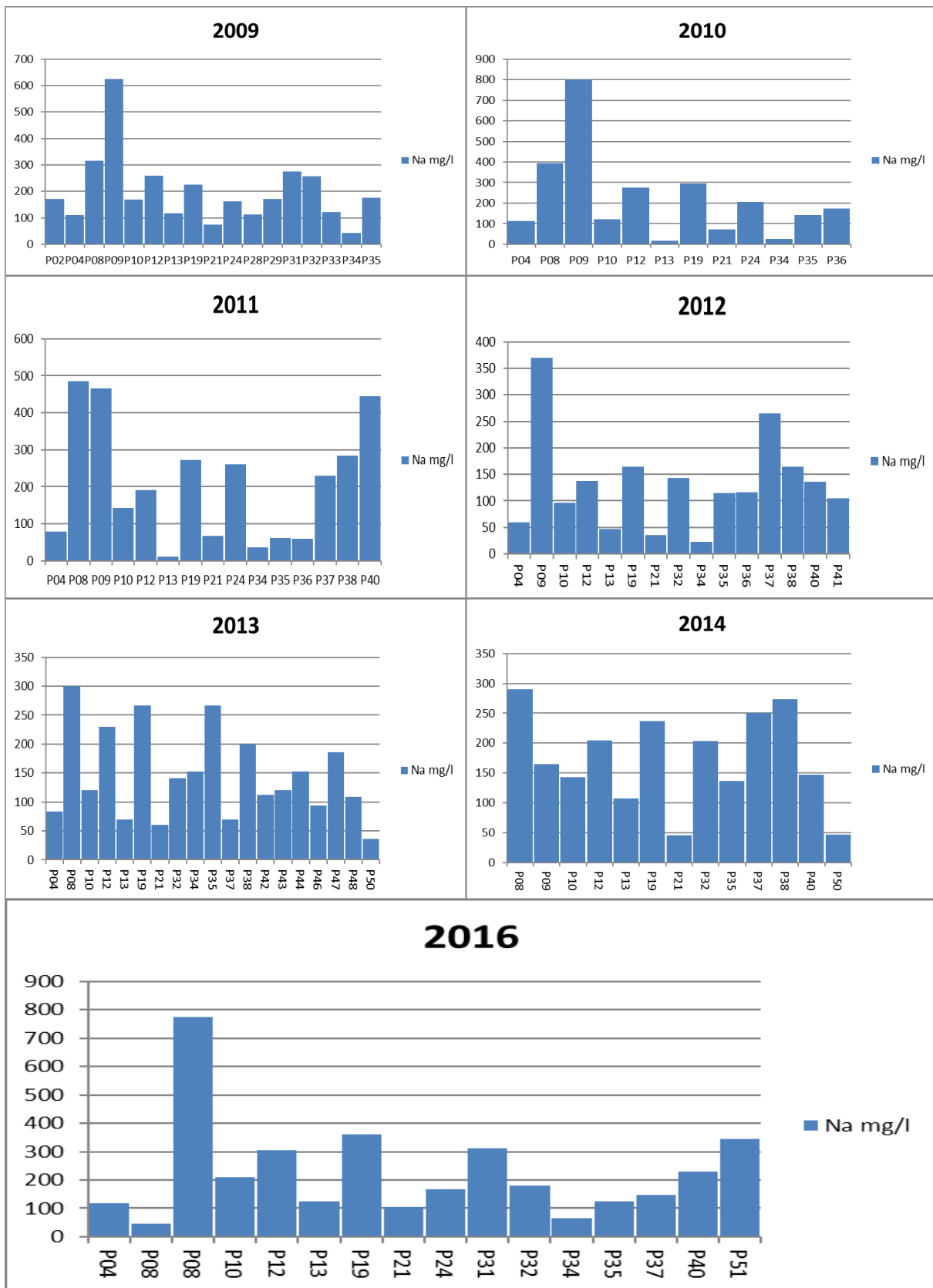
4.Variation de la teneur en calcium :



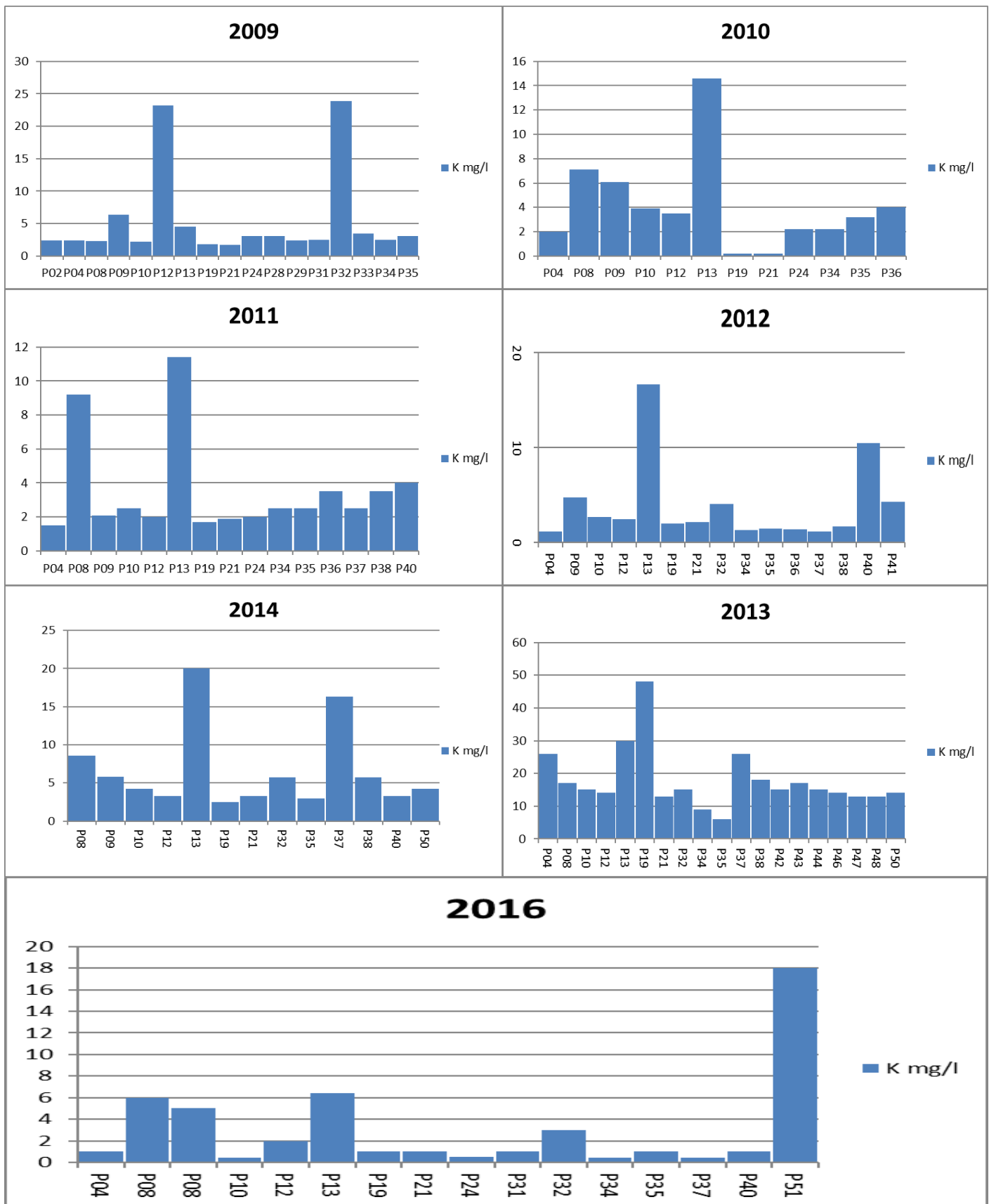
5. Variation de la teneur en magnésium :



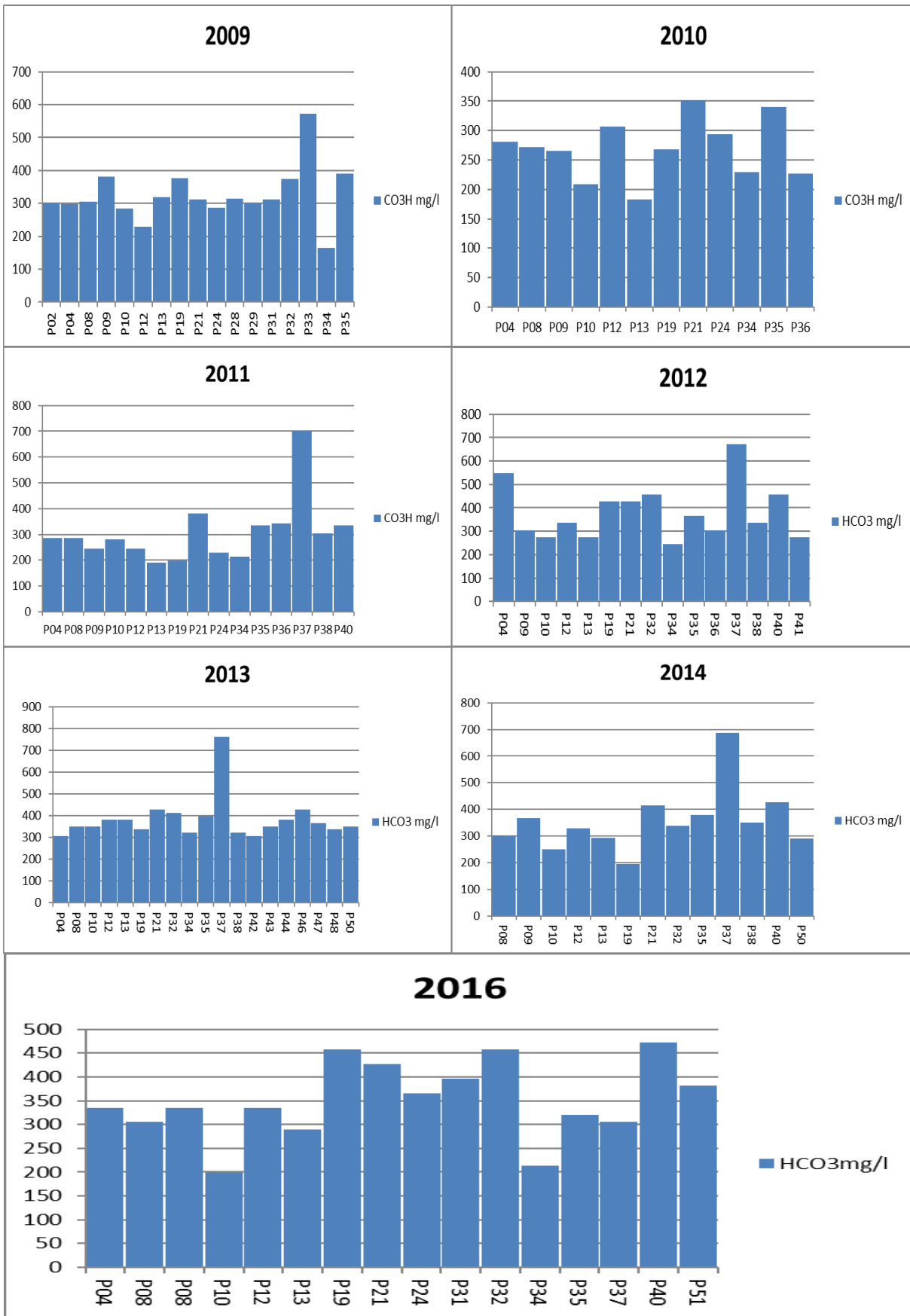
6. Variation de la teneur en sodium :



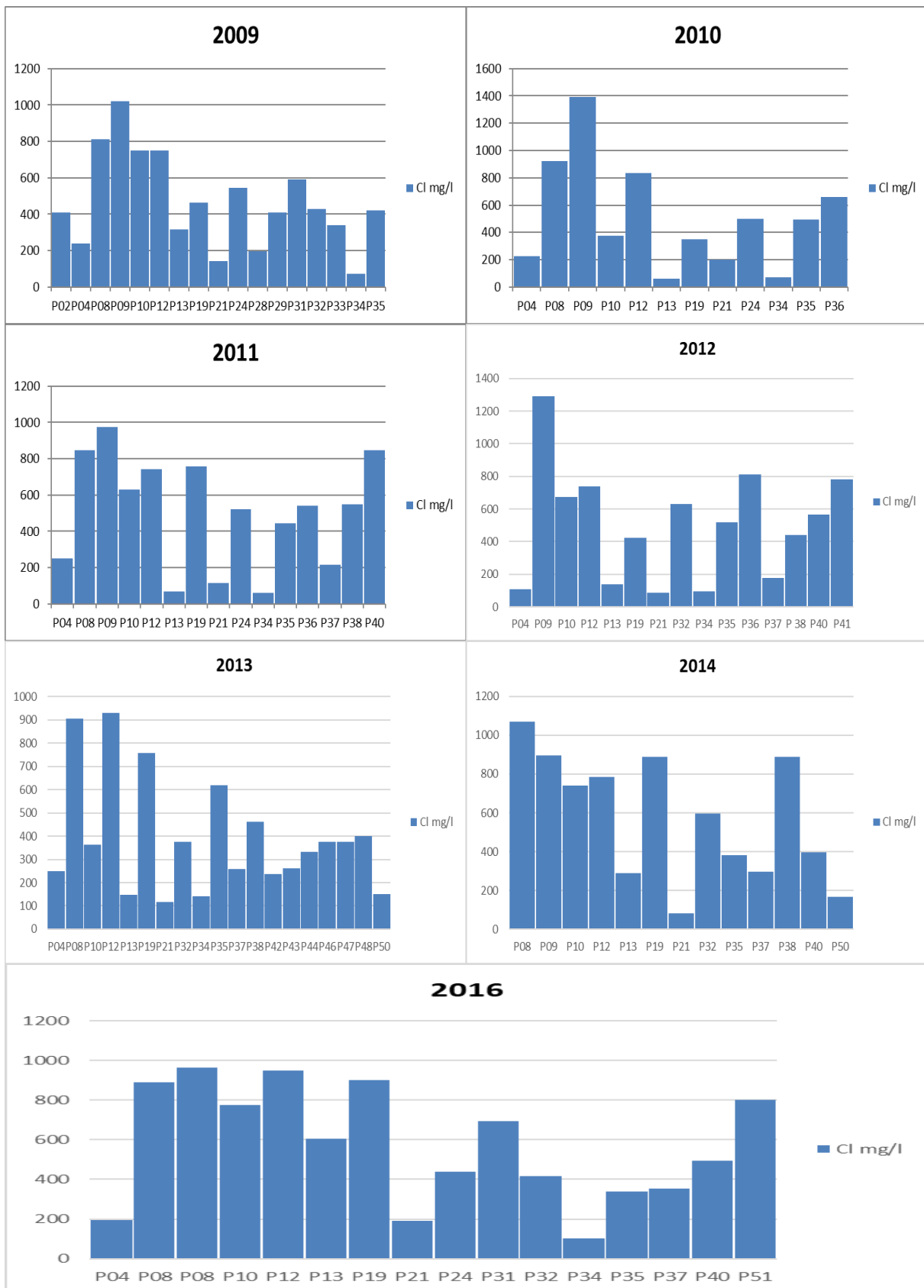
7.Variation de la teneur en potassium :



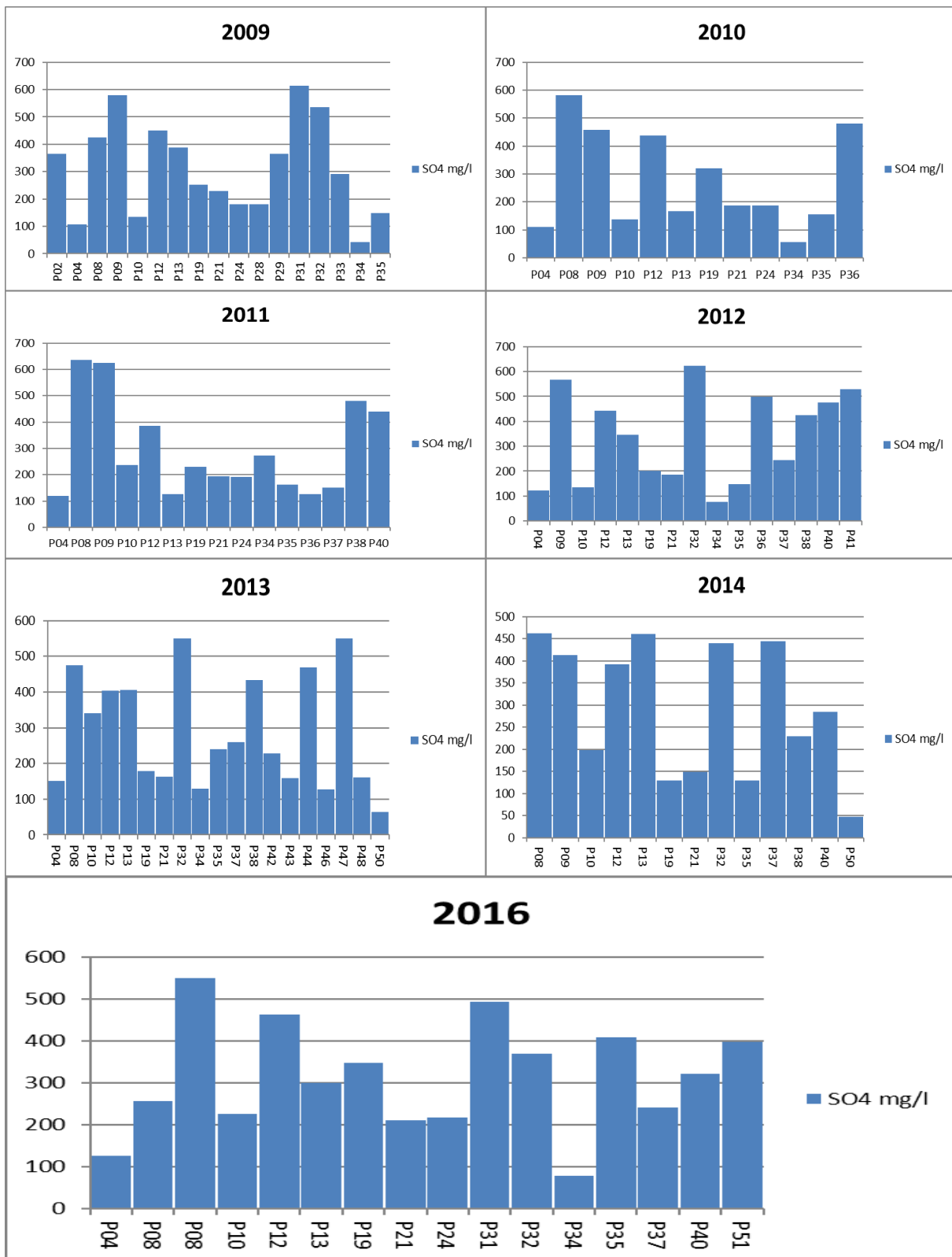
8. Variation de la teneur en bicarbonate :



9. Variation de la teneur en chlorure :



10.Variation de la teneur enSulfate :



11. Variation de la teneur en nitrate :

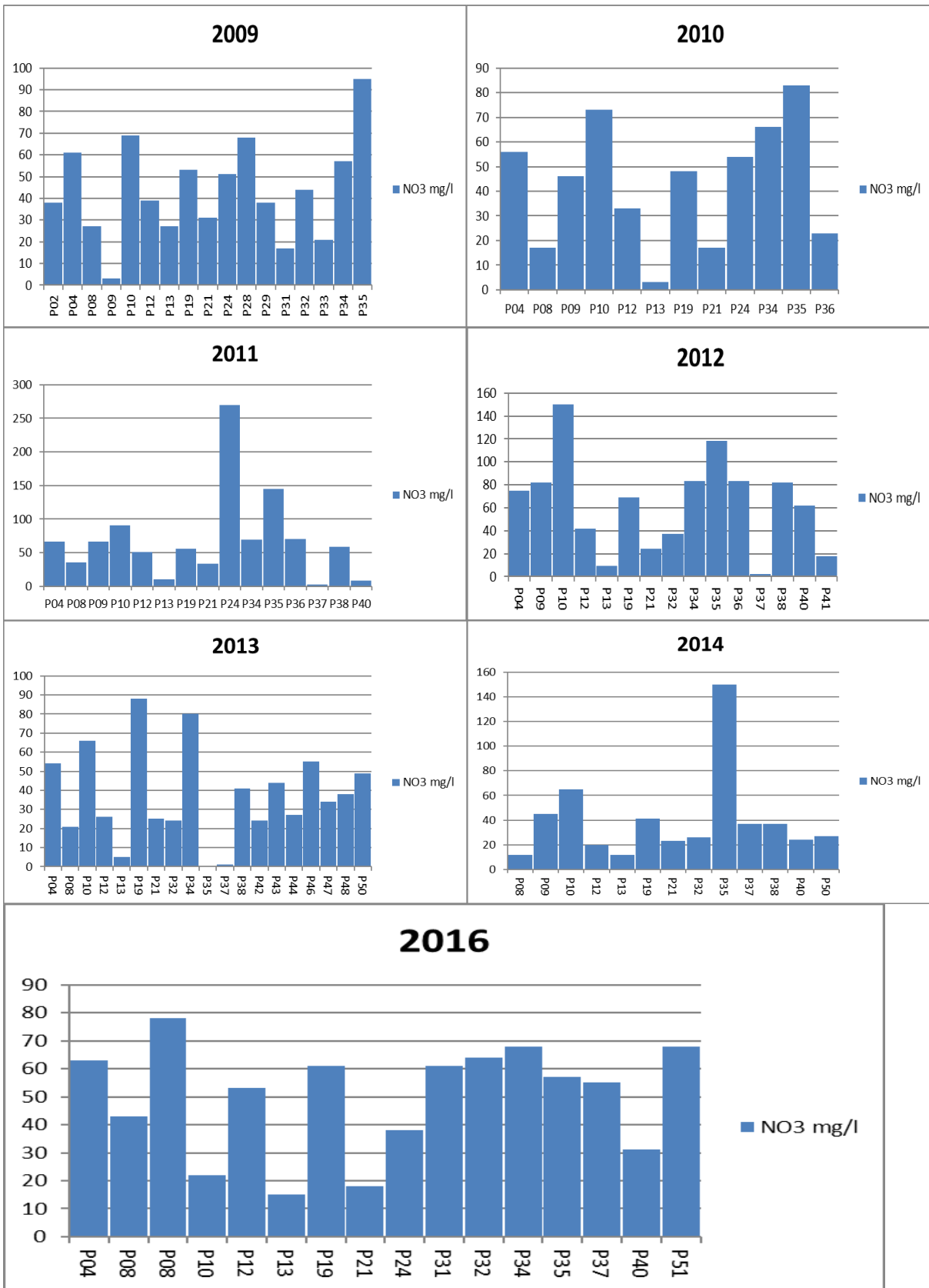


Tableau III. 1: calculer différents titres (année 2009)

Points d'eau	TH(méq/l)	TAC(méq/l)	SAF(méq/l)	Talc(méq/l)	0,9TDS min(mg/l)	R,sec(mg/l)	1,1TDS max(mg/l)
P02	50,37587	7,620237	16,48645	14,51475	37337,76	1596	45894,89
P04	67,73686	2,227774	11,73148	7,79054	36902,02	1126	45178,43
P08	40,22421	8,848636	27,96843	23,00011	37893,49	2756	46616,01
P09	15,27606	12,07579	35,19661	34,59162	38444,32	3401	47399,29
P10	84,66944	2,789923	25,87283	13,68717	37606,48	1867	46058,61
P12	20,39971	3,75	31,15474	11,90265	1777,23	2046	2300,045
P13	17,97142	5,23	17,43512	5,204265	1192,86	1520	1636,283
P19	15,91423	6,18	19,12728	9,876399	1323,63	1643	1828,508
P21	10,15526	5,12	9,322524	3,262271	725,67	1166	1061,522
P24	19,14892	4,715	19,944	7,082333	1276,695	1570	1721,187
P28	10,6718	5,16	10,45058	4,994468	811,71	1 089	1168,046
P29	19,4526	4,93	19,7282	7,499401	1320,12	1 596	1781,593
P31	24,01023	5,11	29,79237	12,06916	1862,37	3 307	2450,481
P32	20,63171	6,14	23,90779	11,79006	1634,04	1 995	2206,534
P33	18,95357	9,37	15,93198	5,352677	1241,64	1 640	1837,077
P34	4,777405	2,69	3,796629	1,93432	343,98	452	512,149
P35	17,09069	6,4	16,55268	7,73479	1202,94	1 792	1688,5

Tableau III. 2: calculer différents titres (année 2010)

Points d'eau	TH(méq/l)	TAC(méq/l)	SAF(méq/l)	Talc(méq/l)	0,9TDS min(mg/l)	R,sec(mg/l)	1,1TDS max(mg/l)
P04	10,30298	4,6	9,568637	5,009831	740,4545	1078	1061,86
P08	25,25079	4,45	38,49512	17,27598	2205,745	3719	2847,655
P09	23,47084	4,35	49,47739	34,95376	2891,381	3767	3682,245
P10	14,47859	3,425	14,6289	5,31941	967,0214	1405	1298,708
P12	27,06928	5,025	33,12493	12,09474	1948,725	3310	2553,128
P13	6,264408	3	5,197085	1,15637	416,44	583	611,2822
P19	11,05022	4,4	17,30976	12,83678	1204,013	1798	1621,612
P21	11,7797	5,775	9,809342	3,180409	765,405	971	1132,423
P24	15,08495	4,815	18,86874	9,016686	1209,618	2182	1642,614
P34	6,067802	3,76	4,254095	1,187195	390,1667	593	605,0864
P35	16,1939	5,57	18,47949	6,214947	1183,853	1719	1636,869
P36	25,39822	3,725	28,98249	7,714312	1695,308	2363	2199,066

Points d'eau	TH(méq/l)	TAC(méq/l)	SAF(méq/l)	Talc(méq/l)	0,9TDS min(mg/l)	R,sec(mg/l)	1,1TDS max(mg/l)
P04	10,53535	4,7	10,63127	3,474642	764,55	1215	1094,72
P08	22,25407	4,7	37,63794	21,33143	2280,78	2749	2947,89
P09	21,04949	4	41,59687	20,2799	2358,09	3619	3018,51
P10	21,67379	4,6	24,18408	6,24054	1463,4	2314	1945,46
P12	22,45898	4	29,7834	8,359113	1694,25	1974	2207,15
P13	8,381578	3,1	4,695457	0,813541	416,16	469	614,35
P19	20,88065	3,25	27,06002	11,87471	1608,93	2098	2077,295
P21	10,12817	6,25	7,859744	2,962906	699,66	919	1068,265
P24	16,51261	3,75	23,09141	11,40392	1463,4	1838	1916,475
P34	9,903092	3,5	8,468555	1,62984	639,45	773	900,9
P35	24,81881	5,5	18,21479	2,717269	1241,1	1985	1704,45
P36	23,14805	5,6	18,96429	2,699349	1238,85	2113	1705,11
P37	10,02468	11,5	9,236315	10,02479	994,05	1325	1607,1
P38	19,21634	5	26,46018	12,44272	1678,95	2204	2222,55
P40	21,73752	5,5	33,21301	19,45855	2054,25	3202	2698,3

Tableau III. 3: calculer différents titres (année 2012)

Points d'eau	TH(méq/l)	TAC	SAF	Talc	TDS min	R,sec	TDS max
P04	13,26026	9	6,82451	2,640522	868,3111	1002	1147,3
P09	33,9577	5	49,52739	16,21672	2999,411	4066	3154,4
P10	24,27906	4,5	24,25018	4,244786	1592,7	2098	1732,2
P12	33,08468	5,5	30,76488	6,066552	2058	2413	2228,5
P13	12,68223	4,5	11,29822	2,471499	895,9222	1110	1035,4
P19	17,63715	7	17,26568	7,18469	1345,556	2001	1562,6
P21	12,3354	7	6,636599	1,622167	727,0889	878	944,1
P32	30,88563	7,5	31,32893	6,32496	2159,378	2461	2391,9
P34	8,839781	4	5,600885	1,033685	552,0778	624	676,1
P35	19,86212	6	19,63236	5,04054	1406,833	1497	1592,8
P36	34,46725	5	34,61642	5,081479	2254,178	2937	2409,2
P37	8,824466	11	10,08454	11,55744	1160,422	1771	1501,4
P 38	22,07059	5,5	22,65359	7,177017	1642,867	1727	1813,4
P40	27,76644	7,5	26,82759	6,184171	1898,389	2538	2130,9
P41	30,86207	4,5	33,32791	4,677183	2052,3	3002	2191,8

Tableau III. 4: calculer différents titres (année 2013)

Points d'eau	TH(méq/l)	TAC(méq/l)	SAF(méq/l)	Talc(méq/l)	0,9TDS min(mg/l)	R,sec(mg/l)	1,1TDS max(mg/l)
P04	10,93353	5	10,98978	4,275261	807,3	979	1157,2
P08	27,69081	5,75	35,75728	13,48396	2142,45	3386	2814,625
P10	20,91038	5,75	18,3691	5,603312	1302,3	1836	1787,775
P12	26,86793	6,25	35,0649	10,36242	2044,35	3144	2711,775
P13	16,92612	6,25	12,7368	3,812105	1030,05	1498	1472,075
P19	18,99495	5,5	26,51432	12,84143	1662,75	2584	2219,8
P21	10,67872	7	7,12557	2,942328	689,4	1042	1081,3
P32	25,37615	6,75	22,41655	6,516753	1585,35	1152	2167,825
P34	7,632461	5,25	7,946189	6,885258	738,45	910	1081,575
P35	19,59804	6,5	22,4863	11,76721	1506,6	2100	2063,05
P37	19,13302	12,5	12,76369	3,709798	1185,3	1405	1874,95
P38	21,51878	5,25	22,71262	9,159816	1520,55	1902	2037,475
P42	9,89514	5	11,82699	5,255335	833,4	978	1189,1
P43	9,850538	5,75	11,38998	5,654466	842,85	1108	1226,225
P44	19,64265	6,25	19,5588	7,038719	1373,4	1777	1891,725
P46	17,2298	7	14,16597	4,446809	1053,9	1576	1526,8
P47	22,06771	6	22,57784	8,422972	1554,3	2295	2104,3
P48	17,40866	5,5	15,22765	5,07369	1083,6	1509	1511,95
P50	9,731601	5,75	6,333314	1,923973	589,95	729	917,125

Tableau III. 5: calculer différents titres (année 2014)

Points d'eau	TH(méq/l)	TAC(méq/l)	SAF(méq/l)	Talc(méq/l)	0,9TDS min(mg/l)	R,sec(mg/l)	1,1TDS max(mg/l)
P08	27,68816	4,9	40,0063	12,83414	2230,29	2515	2893
P09	29,27548	6	34,63154	7,325379	2007,72	2926	2658,48
P10	26,80846	4,1	26,04528	6,327518	1581,48	2142	2072,73
P12	28,45687	5,4	30,62801	8,957827	1865,07	2501	2463,67
P13	19,80031	4,8	17,89501	5,165733	1244,7	1521	1684,98
P19	24,34837	3,2	28,47371	10,37277	1649,25	2256	2124,87
P21	11,35557	6,8	5,765492	2,085273	634,77	834	1007,71
P32	26,05197	5,55	26,3645	8,975714	1709,28	2412	2278,375
P35	18,26127	6,2	15,85271	5,992346	1180,8	1659	1654,62
P37	15,3388	11,25	18,26802	11,29119	1479,42	1691	2191,805
P38	27,51402	5,75	30,42071	12,02052	1887,03	2508	2502,445
P40	19,83961	7	17,51304	6,478488	1269,72	2186	1790,58
P50	8,914027	4,75	6,153108	2,151789	540,63	791	822,745

Tableau III. 6: calculer différents titres (année 2016)

Points d'eau	TH(méq/l)	TAC(méq/l)	SAF(méq/l)	Talc(méq/l)	0,9TDS min(mg/l)	R,sec(mg/l)	1,1TDS max(mg/l)
P04	10,8363	5,5	9,062957	5,158243	771,7277	1094	1130,773
P08	31,12181	5	31,15015	2,15433	1710,037	2793	2260,545
P08	15,75197	5,5	39,86016	33,83819	2527,178	3069	3276,323
P10	21,54295	3,25	26,90119	9,144637	1553,971	1839	2010,123
P12	33,57811	5,5	37,27213	13,36129	2237,066	3337	2921,742
P13	25,20927	4,75	23,55432	5,600838	1497,694	1929	1992,489
P19	29,54112	7,5	33,61721	15,68456	2177,582	2867	2917,24
P21	13,94524	7	10,07867	4,59278	882,1113	1192	1316,836
P24	17,26341	6	17,45142	7,233319	1212,649	1573	1686,727
P31	26,37384	6,5	30,85337	13,5097	1982,985	2864	2645,299
P32	22,75024	7,5	20,51293	7,949719	1484,058	2063	2069,599
P34	7,1203	3,5	5,598051	2,837547	499,2539	606	729,5492
P35	18,47686	5,25	19,02584	5,506221	1276,062	1591	1738,657
P37	15,26768	5	15,8833	6,404315	1122,293	1834	1542,191
P40	21,27696	7,75	21,16747	10,02993	1481,711	2174	2075,255
P51	26,61642	6,25	31,95026	15,37991	2023,483	2686	2686,271

Tableau III.6 : Qualité de l'eau en fonction du TH Année 2009 (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
			P34	P04-P21-P28	P2-P08-P09-P10-P12-P13-P19-P24-P29-P31-P32-P33-P35

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 17.64% des Forages qualité Dure
- 76.48% des Forages qualité Très dure
- 5.88% des Forages qualité Assez douce

Tableau III.7 : Qualité de l'eau en fonction du TH Année 2010 (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
			P13-P34	P04	P08-P09-P10-P12-P19-P21-P24- P35-P36

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 8.34% des Forages qualité Dure
- 75% des Forages qualité Très dure
- 16.66% des Forages qualité Assez douce

Tableau III.8: Qualité de l'eau en fonction du TH Année 2011(W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
				P04-P13-P21-P34-P37	P08-P09-P10-P12-P19-P24-P35-P36-P38-P40

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 33.33% des Forages qualité Dure
- 66.67% des Forages qualité Très dure

Tableau III.5 : Qualité de l'eau en fonction du TH Année 2012 (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
				P34-P37-	P04-P09-P10-P12-P13-P19-P21-P32-P35-P36-P38-P40-P41

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 13.33% des Forages qualité Dure
- 86.67% des Forages qualité Très dure

Tableau III.5 : Qualité de l'eau en fonction du TH Année 2013 (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
				P21-P34-P42-P43-P50	P04-P08-P10-P12-P13-P19-P32-P35-P37-P38-P44-P46-P47-P48-

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 26.31% des Forages qualité Dure
- 73.68% des Forages qualité Très dure

Tableau III.5 : Qualité de l'eau en fonction du TH Année 2014 (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
---------	-------	--------	---------	---------	------

Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
					P08-P09-P10-P12-P13-P19-P21-P32-P35-P37-P38-P40-P50

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 100% des Forages qualité Très dure

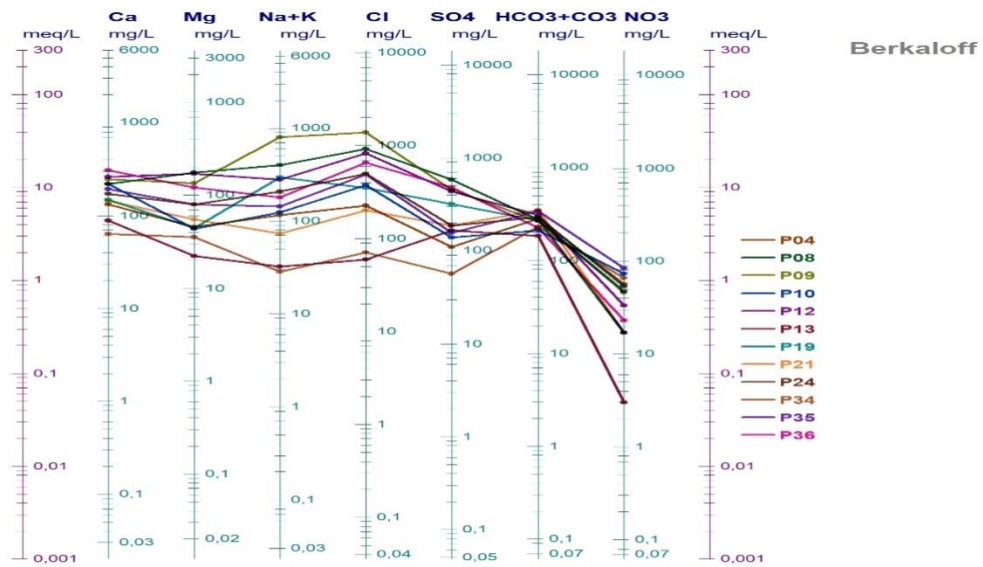
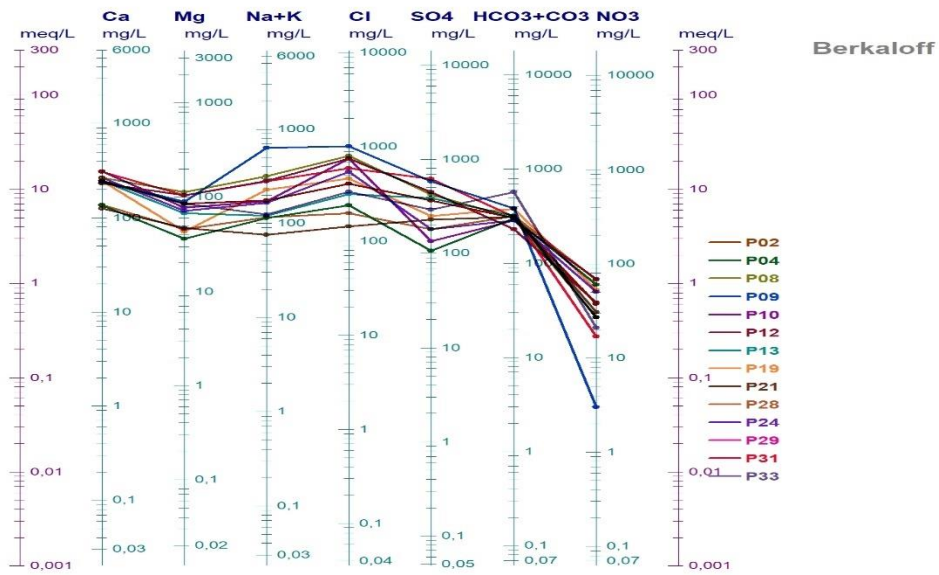
Tableau III.5 : Qualité de l'eau en fonction du TH Année 2016(W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

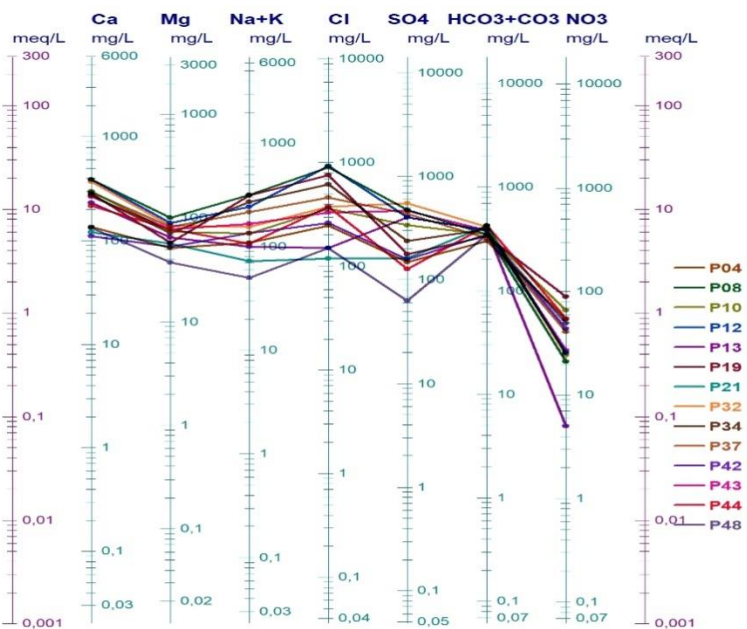
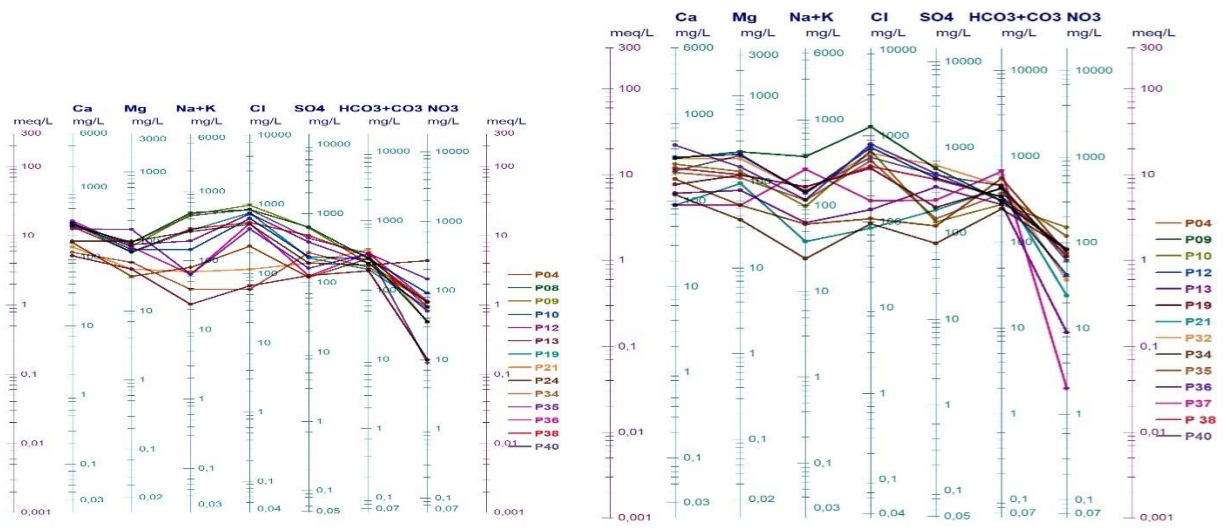
TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
				P34	P04-P08-P10-P12-P13-P19-P21-P24-P32-P35-P37-P40-P51

Les résultats des analyses des échantillons indiquent une variation de qualité des eaux dans la région de Chlef :

- 7.15% des Forages qualité Dure
- 92.85% des Forages qualité Très dure

Diagramme de shoeller-Berkaloff :





Berkaloff

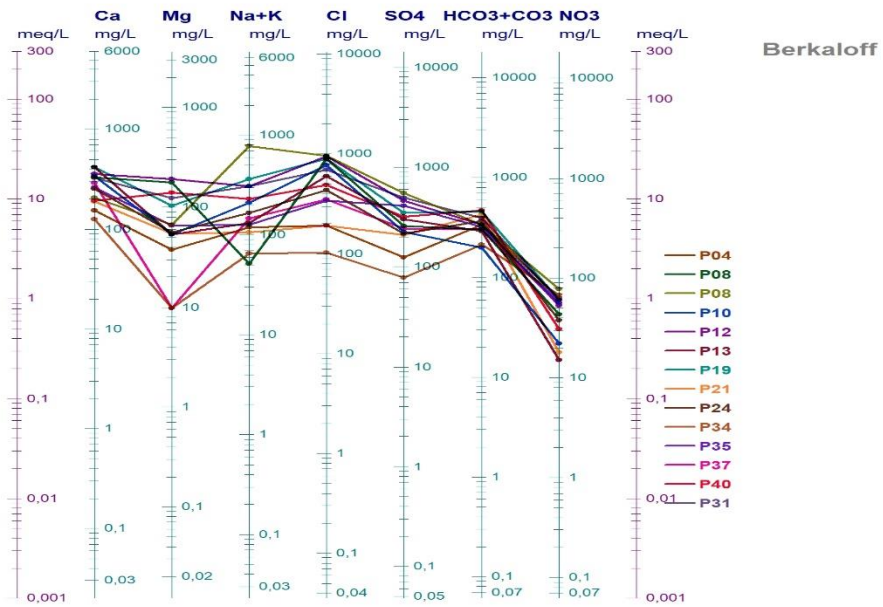
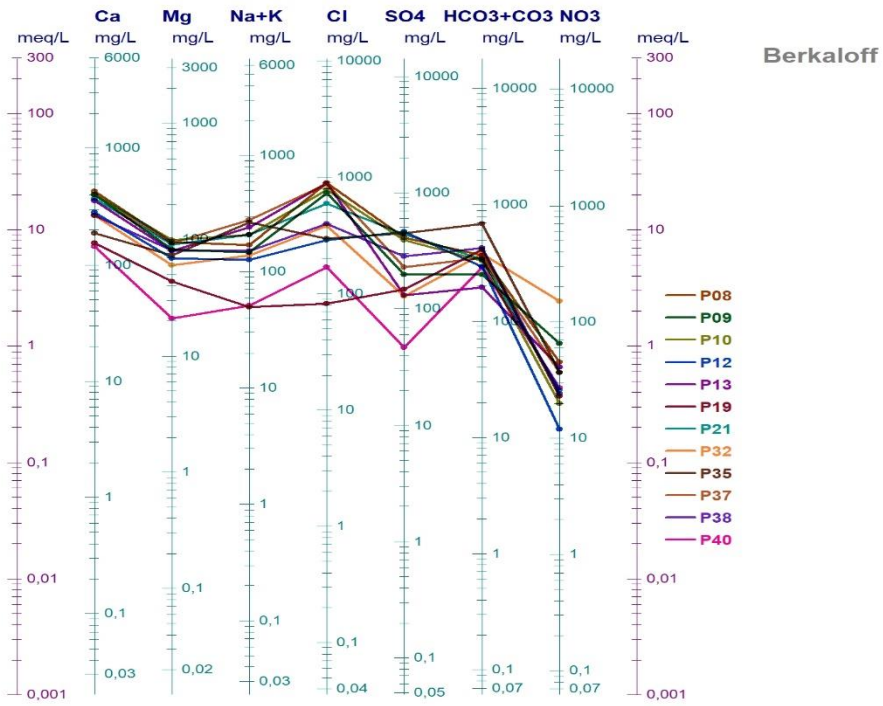
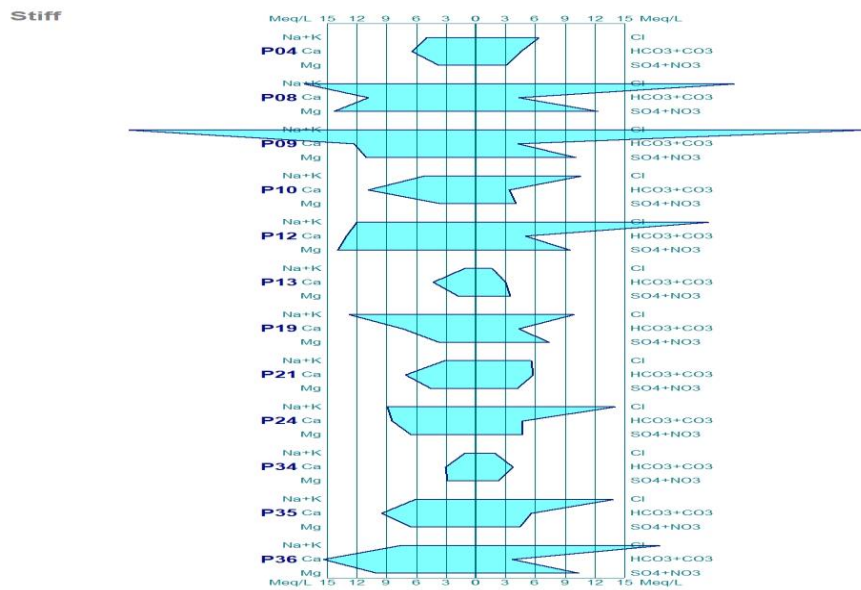
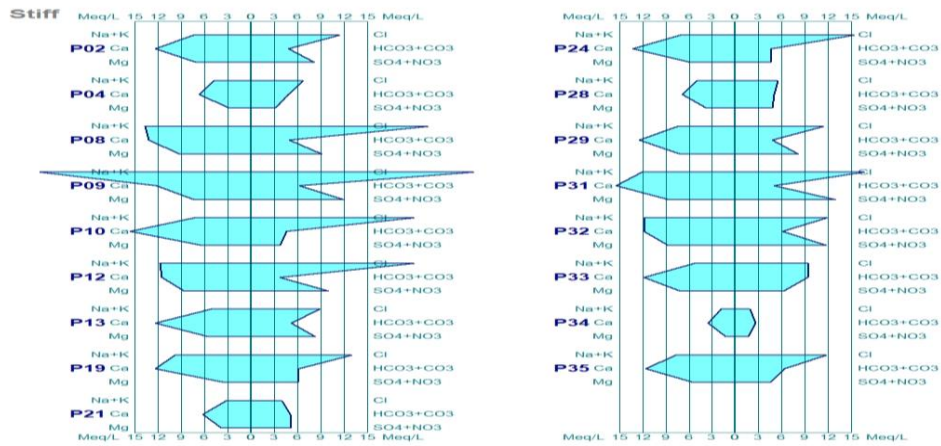
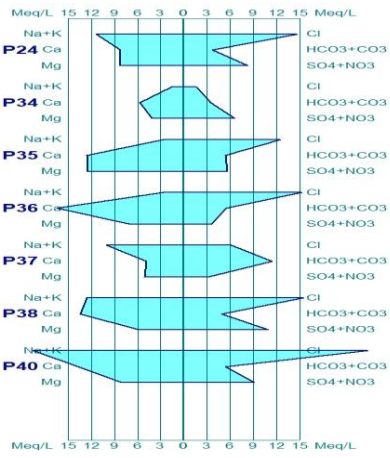
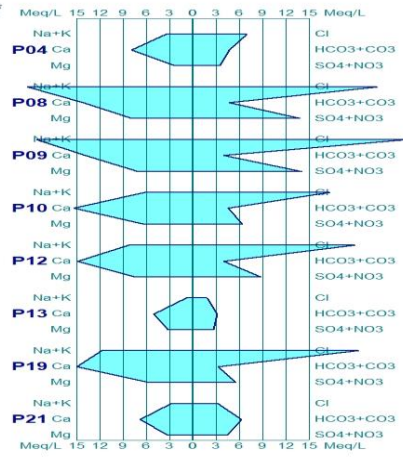


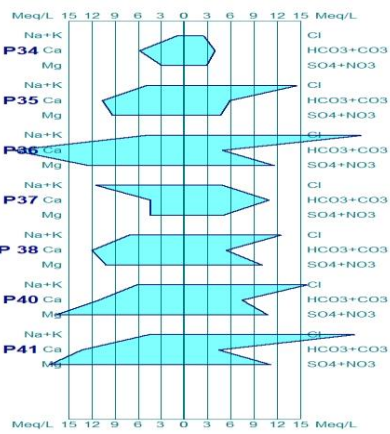
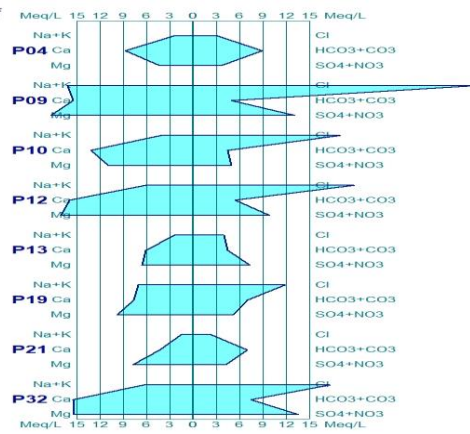
Diagramme de Stiff :



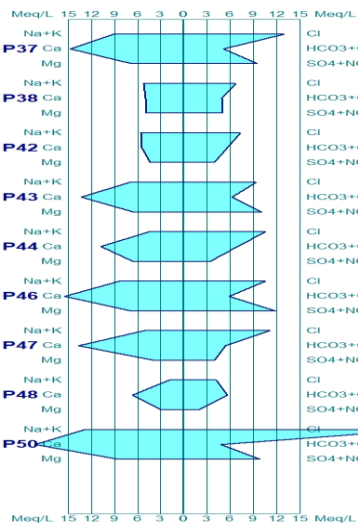
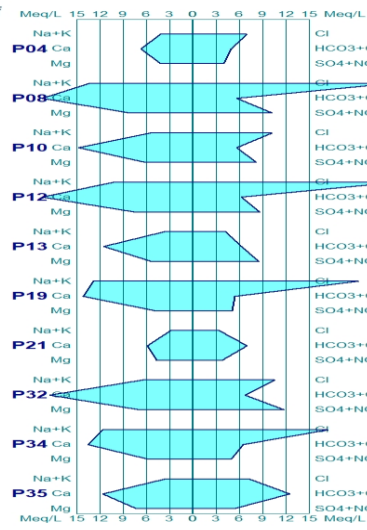
Stiff



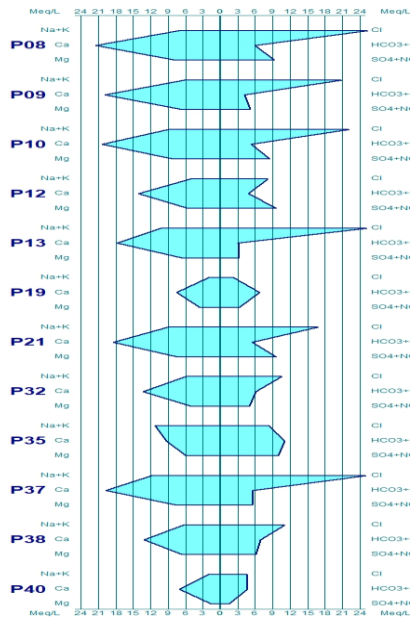
Stiff



Stiff



Stiff



Stiff

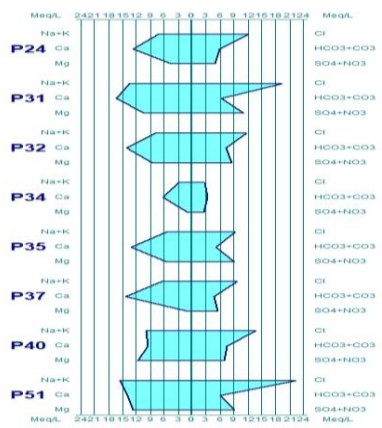
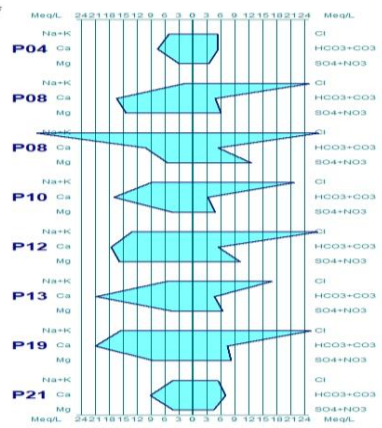
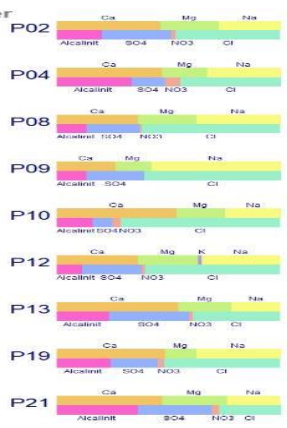
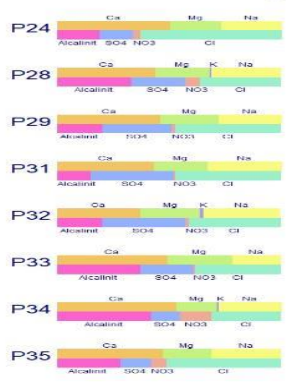


Diagramme de stabler :

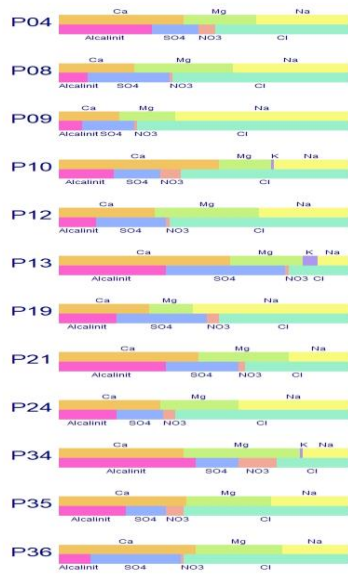
Stabler



Lieu

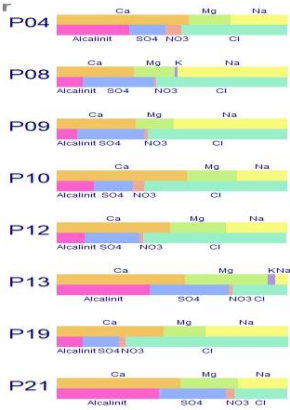


Stabler

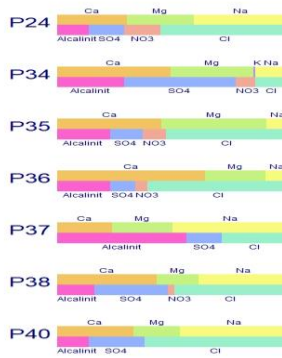


Lieu

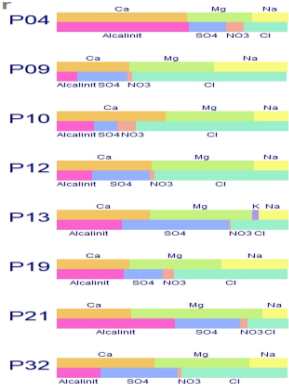
Stabler



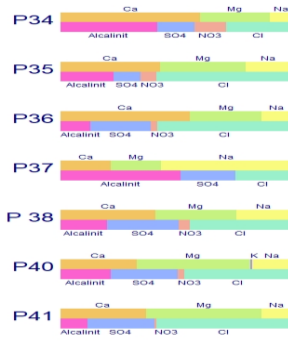
Lieu



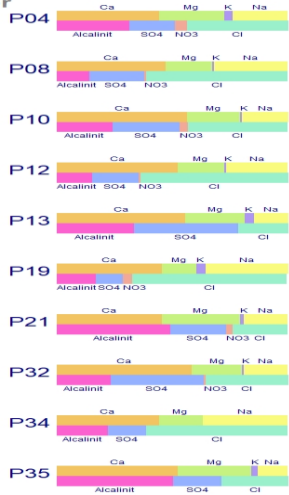
Stabler



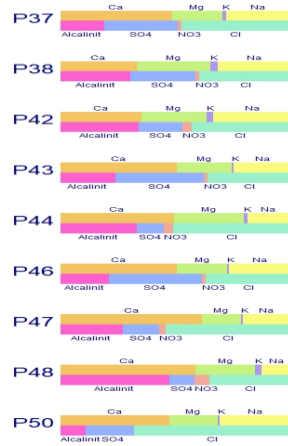
Lieu



Stabler

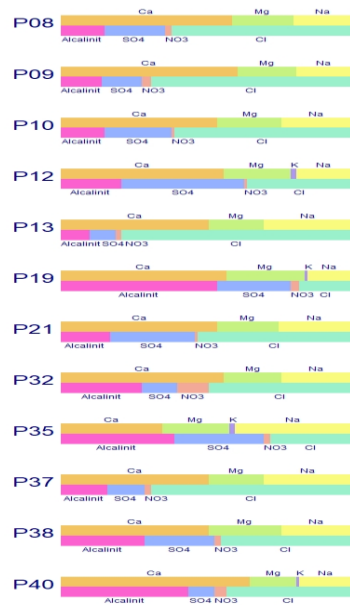


Lieu



Stabler

Lieu



Stabler

Lieu



Tableau III.7 : calcul du SAR pour les puits étudiés

année 2009	
Puits	SAR (meq)
P02	2,384972
P04	2,192455
P08	4,082971
P09	8,666067
P10	2,216135
P12	3,541093
P13	1,697738
P19	3,48491
P21	1,428441
P24	2,263236
P28	2,127824
P29	2,384972
P31	3,46487
P32	3,480499
P33	1,709684

année 2010	
Puits	SAR (meq)
P04	2,184738
P08	4,810953
P09	10,15785
P10	1,939966
P12	3,263223
P13	0,442393
P19	5,458994
P21	1,308374
P24	3,262656
P34	0,649282
P35	2,155358
P36	2,136055

année 2011	
Puits	SAR (meq)
P04	1,497196
P08	6,324309
P09	6,234595
P10	1,876277
P12	2,479216
P13	0,254973
P19	3,661617
P21	1,295046
P24	3,951015
P34	0,703709
P35	0,753209
P36	0,767132
P37	4,449142
P38	3,985282
P40	5,871256

année 2012	
Puits	SAR (meq)
P04	1,013564
P09	3,905787
P10	1,198481
P12	1,475848
P13	0,811851
P19	2,402181
P21	0,630524
P32	1,582828
P34	0,475864
P35	1,587308
P36	1,215432
P37	5,48754
P 38	2,1474
P40	1,58765
P41	1,16266

année 2013	
Puits	SAR (meq)
P04	1,544095
P08	3,506949
P10	1,61427
P12	2,729523
P13	1,046635
P19	3,768498
P21	1,129452
P32	1,721798
P34	3,40671
P35	3,71006
P37	0,984424
P38	2,652145
P42	2,190197
P43	2,351946
P44	2,123574
P46	1,393041
P47	2,435625
P48	1,607015
P50	0,709882

Rés

année 2014	
Puits	SAR (meq)
P08	3,390213
P09	1,875893
P10	1,698932
P12	2,352408
P13	1,47919
P19	2,954537
P21	0,83971
P32	2,446537
P35	1,957715
P37	3,926634
P38	3,20156
P40	2,030144
P50	0,96836

année 2016	
Puits	SAR (meq)
P04	2,205045
P08	0,507226
P08	12,01186
P10	2,783189
P12	3,248399
P13	1,531461
P19	4,074413
P21	1,729627
P24	2,457654
P31	3,713223
P32	2,334327
P34	1,498443
P35	1,803153
P37	2,314232
P40	3,067249
P51	4,089737

Résultat de PI % et interprétation de la région de Chlef

Année 2009		
Points d'eau	PI	Qualité
P02	59,93102	admissible
P04	69,62212	admissible
P08	66,32571	admissible
P09	79,58877	admissible
P10	56,91556	admissible
P12	64,63195	admissible
P13	56,55589	admissible
P19	69,16677	admissible
P21	64,02058	admissible
P24	59,22947	admissible
P28	67,90239	admissible
P29	59,93102	admissible
P31	62,93655	admissible
P32	65,52203	admissible
P33	58,62915	admissible
P34	72,66848	admissible
P35	64,1554	admissible

Année 2010		
Points d'eau	PI	Qualité
P04	46,54433	admissible
P08	45,35084	admissible
P09	63,29896	admissible
P10	35,89322	admissible
P12	36,46079	admissible
P13	35,68714	admissible
P19	62,51301	admissible
P21	37,30137	admissible
P24	46,39035	admissible
P34	42,6464	admissible
P35	38,03998	admissible
P36	28,90629	admissible

Année 2011		
Points d'eau	PI	Qualité
P04	40,11148	admissible
P08	53,66545	admissible
P09	53,84815	admissible
P10	29,87879	admissible
P12	33,50337	admissible
P13	25,63752	admissible
P19	41,67907	admissible
P21	41,51288	admissible
P24	47,69093	admissible
P34	29,96538	admissible
P35	18,19493	non utilisable
P36	19,31938	non utilisable
P37	66,80842	admissible
P38	46,21311	admissible
P40	52,80959	admissible

Année 2012		
Points d'eau	PI	Qualité
P04	35,34844	admissible
P09	36,62221	admissible
P10	22,13001	non utilisable
P12	21,35686	non utilisable
P13	28,28684	admissible
P19	39,47927	admissible
P21	30,2968	admissible
P32	24,14373	non utilisable
P34	30,49156	admissible
P35	29,96934	admissible
P36	18,42875	non utilisable
P37	72,93606	admissible
P 38	32,45687	admissible
P40	25,69388	admissible
P41	18,87852	non utilisable

Année 2013		
Points d'eau	PI	Qualité
P04	40,19813	admissible
P08	37,91626	admissible
P10	29,15256	admissible
P12	33,9126	admissible
P13	27,76438	admissible
P19	45,60454	admissible
P21	39,54971	admissible
P32	27,70988	admissible
P34	62,61654	admissible
P35	45,3779	admissible
P37	29,6708	admissible
P38	36,37119	admissible
P42	48,13325	admissible
P43	50,54728	admissible
P44	34,81317	admissible
P46	31,58982	admissible
P47	34,94894	admissible
P48	31,99298	admissible
P50	35,08576	admissible

Année 2016		
Points d'eau	PI	Qualité
P04	46,1238	admissible
P08	51,55481	non utilisable
P08	47,14782	admissible
P10	49,27179	admissible
P12	47,22739	admissible
P13	47,6854	admissible
P19	47,08432	admissible
P21	47,56361	admissible
P24	48,29265	admissible
P31	47,75377	admissible
P32	46,88737	admissible
P34	45,14563	admissible
P35	49,36293	admissible
P37	48,07125	admissible
P40	47,62088	admissible
P51	46,99062	admissible

Résultats de MH des forages étudiés (2008)

Année 2009		
Points d'eau	MH	Qualité
P02	36,37937	eau convenable
P04	30,54219	eau convenable
P05	41,28499	eau convenable
P06	37,6278	eau convenable
P09	28,79334	eau convenable
P10	42,75788	eau convenable
P12	31,13586	eau convenable
P13	22,23397	eau convenable
P15	38,08389	eau convenable
P17	30,94016	eau convenable
P19	35,46945	eau convenable
P21	36,37937	eau convenable
P22	35,98549	eau convenable
P24	42,67592	eau convenable
P26	37,3372	eau convenable

Année 2011		
Points d'eau	MH	Qualité
P04	24,21293	eau convenable
P08	35,86714	eau convenable
P09	33,61951	eau convenable
P10	28,85447	eau convenable
P12	33,34155	eau convenable
P13	39,27069	eau convenable
P19	27,58598	eau convenable
P21	32,4985	eau convenable
P24	49,8332	eau convenable
P34	41,54642	eau convenable
P35	49,733	eau convenable
P36	29,50517	eau convenable
P37	51,71356	eau ne conviennent pas
P38	30,40339	eau convenable
P40	37,09799	eau convenable

Année 2012		
Points d'eau	MH	Qualité
P04	33,09642	eau convenable
P09	54,28053	eau ne conviennent pas
P10	45,18988	eau convenable
P12	51,73337	eau ne conviennent pas
P13	51,90735	eau ne conviennent pas
P19	55,98699	eau ne conviennent pas
P21	64,04013	eau ne conviennent pas
P32	49,733	eau convenable
P34	33,51161	eau convenable
P35	46,40095	eau convenable
P36	35,65204	eau convenable
P37	49,733	eau convenable
P 38	45,73482	eau ne conviennent pas
P40	60,06155	eau ne conviennent pas
P41	56,88111	eau ne conviennent pas

Année 2013		
Points d'eau	MH	Qualité
P04	38,38346	eau convenable
P08	29,71657	eau convenable
P10	29,12086	eau convenable
P12	27,56402	eau convenable
P13	31,60024	eau convenable
P19	25,12605	eau convenable
P21	43,92282	eau convenable
P32	27,23879	eau convenable
P34	3,23438	eau convenable
P35	30,23111	eau convenable
P37	38,70735	eau convenable
P38	31,35672	eau convenable
P42	49,06417	eau convenable
P43	44,27415	eau convenable
P44	32,67601	eau convenable
P46	37,72952	eau convenable
P47	30,57673	eau convenable
P48	21,74337	eau convenable
P50	31,28613	eau convenable

Année 2014		
Points d'eau	MH	Qualité
P08	30,611	eau convenable
P09	26,70263	eau convenable
P10	25,1696	eau convenable
P12	28,62744	eau convenable
P13	28,67554	eau convenable
P19	27,03675	eau convenable
P21	31,88439	eau convenable
P32	28,7432	eau convenable
P35	27,03675	eau convenable
P37	39,1621	eau convenable
P38	27,81399	eau convenable
P40	33,59591	eau convenable
P50	19,38562	eau convenable

Année 2016		
Points d'eau	MH	Qualité
P04	28,87109	eau convenable
P08	47,10223	eau convenable
P08	34,75742	eau convenable
P10	20,57961	eau convenable
P12	47,29468	eau convenable
P13	17,5866	eau convenable
P19	28,94651	eau convenable
P21	32,11964	eau convenable
P24	26,84855	eau convenable
P31	38,55265	eau convenable
P32	37,58696	eau convenable
P34	11,32091	eau convenable
P35	29,44795	eau convenable
P37	5,279667	eau convenable
P40	54,54302	eau ne conviennent pas
P51	47,42594	eau convenable

Résultats de KR des forages étudiant année (2008) :

Année 2009		
nom	KR	Qualité
P02	0,382366	convenable
P04	0,497791	convenable
P08	0,608346	convenable
P09	1,381252	ne conviennent pas
P10	0,334053	convenable
P12	0,554383	convenable
P13	0,283181	convenable
P19	0,617709	convenable
P21	0,316958	convenable
P24	0,365715	convenable
P28	0,460576	convenable
P29	0,382366	convenable
P31	0,500004	convenable
P32	0,541825	convenable
P33	0,277687	convenable
P34	0,391505	convenable
P35	0,447934	convenable

Année 2012		
Points d'eau	KR	Qualité
P04	0,196816	convenable
P09	0,473941	convenable
P10	0,171989	convenable
P12	0,181432	convenable
P13	0,161199	convenable
P19	0,404461	convenable
P21	0,126943	convenable
P32	0,201391	convenable
P34	0,113174	convenable
P35	0,251845	convenable
P36	0,14639	convenable
P37	1,306226	ne conviennent pas
P 38	0,323215	convenable
P40	0,213049	convenable
P41	0,147988	convenable

Année 2011		
Points d'eau	KR	Qualité
P04	0,326166	convenable
P08	0,947967	convenable
P09	0,960887	convenable
P10	0,28498	convenable
P12	0,369917	convenable
P13	0,062275	convenable
P19	0,566612	convenable
P21	0,287743	convenable
P24	0,687521	convenable
P34	0,158122	convenable
P35	0,106908	convenable
P36	0,112745	convenable
P37	0,993633	convenable
P38	0,642849	convenable
P40	0,890453	convenable

Année 2013		
Points d'eau	KR	Qualité
P04	0,330201	convenable
P08	0,471245	convenable
P10	0,249621	convenable
P12	0,372353	convenable
P13	0,179888	convenable
P19	0,611412	convenable
P21	0,244396	convenable
P32	0,241688	convenable
P34	0,871943	convenable
P35	0,592597	convenable
P37	0,159139	convenable
P38	0,404272	convenable
P42	0,492331	convenable
P43	0,529886	convenable
P44	0,338807	convenable
P46	0,237306	convenable
P47	0,36662	convenable
P48	0,272347	convenable
P50	0,160909	convenable

Année 2014		
Points d'eau	KR	Qualité
P08	0,45558	convenable
P09	0,245155	convenable
P10	0,23202	convenable
P12	0,31182	convenable
P13	0,235057	convenable
P19	0,423389	convenable
P21	0,176202	convenable
P32	0,338935	convenable
P35	0,323943	convenable
P37	0,70894	convenable
P38	0,431588	convenable
P40	0,322289	convenable
P50	0,229343	convenable

Année 2016		
Points d'eau	KR	Qualité
P04	0,473655	convenable
P08	0,064292	convenable
P08	2,14007	ne conviennent pas
P10	0,424009	convenable
P12	0,396393	convenable
P13	0,21568	convenable
P19	0,530074	convenable
P21	0,32751	convenable
P24	0,418256	convenable
P31	0,511269	convenable
P32	0,346062	convenable
P34	0,397078	convenable
P35	0,296622	convenable
P37	0,418799	convenable
P40	0,470196	convenable
P51	0,560539	convenable