

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB DE BLIDA

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DÉPARTEMENT DE CHIMIE INDUSTRIELLE



MÉMOIRE

En vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en Chimie industrielle

Option : Génie de l'Environnement

THÈME

**ÉTUDE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET
BACTÉRIOLOGIQUES DES EAUX DE SOURCES DU
PARC NATIONAL DE CHRÉA**

Présenté par : **Melle.CHANANE Sarra**

Dirigé par : **Mr. Pr. Ali AOUABED**

Devant le jury composé de :

Mr GHERNAOUT.Dj	Maître de conférences. A	Président
Mr AOUABED.A	Professeur	Promoteur
Mme ALLAL.N	Maître assistante. A	Examinatrice
Mme ZERMANE.F	Maître assistante. A	Examinatrice

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2010/2011

ملخص:

الهدف المحدد من هذه الدراسة هو مراقبة النوعية الفيزيائية, الكيميائية و الميكروبيولوجية لمياه خمسة ينابيع مختلفة, تقع في ثلاث مناطق منفصلة (بني علي, شفة و بوعرفة) وهذا لاختبار مدى صلاحيتها للشرب.

أظهرت نتائج المتابعة الفيزيائية والكيميائية لهذه التدفقات المائية أن مياه الينابيع بقيت صالحة للشرب كيميائيا.

تمثيل نتائج التحليل على كل من الرسمين البيانيين (بيبر و شولر- بيركالوف), يدل على أن جميع المياه المدروسة هي من نوع بيكاربونات الكالسيوم مما يؤكد الطبيعة الكربونية للمنطقة.

كشفت نتائج حملة 2011 أن نوعية المياه وكذا مظهرها الكيميائي محفوظين إجمالاً.

الكلمات الأساسية : الحظيرة الوطنية للشريعة, مياه الينابيع, تحاليل فيزيائية - كيميائية, ميكروبيولوجية المياه.

Résumé:

L'objectif assigné à cette étude est le contrôle de la qualité microbienne et physico-chimique des eaux de sources prélevées à partir de cinq sites différents, localisés dans trois zones distinctes (Beni Ali, Bouaarfa et Chiffa), afin de vérifier leur potabilité.

Les résultats du suivi de la qualité physico-chimique des émergences ont montré que les eaux des sources restent de bonne potabilité chimique. La représentation des données d'analyse sur les deux diagrammes (Piper et Schoeller-Berkaloff) indique que toutes les eaux sont du type bicarbonaté calcique confirmant la nature carbonatée des formations de la région.

Les résultats de la campagne 2011 ont révélé que la qualité des eaux ainsi que les faciès chimiques ont été globalement préservés.

Mots clés : Parc National de Chréa, Eaux de sources, analyses physico-chimiques, microbiologie des eaux.

Abstract:

The objective set for this study is the control of microbial quality and physico-chemical of spring water, sampled from five different sites located in three distinct areas (Beni Ali, Bouaarfa and Chiffa), to test their drinking water.

The results of monitoring of the physico-chemical emergencies have shown that water sources are in good chemical potability. The representation of data analysis on both diagrams (Piper and Schoeller-Berkaloff) indicates that all waters are of calcium bicarbonate, confirming the nature of the carbonate formations of the region.

The results of the campaign 2011 revealed that water quality and the chemical facies were generally preserved.

Keywords: National Park Chréa, water sources, physical and chemical analysis, microbiology of water.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE THEORIQUE	
I. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE	2
I.1. Parc National de Chéra (présentation)	2
I.1.1. Situation géographique	2
I.1.2. Cadre physique	3
I.1.2.1. Géologie du Parc National de Chréa	3
I.1.2.1.1. Description lithologique	3
I.1.2.2. Hydrographie	4
I.1.2.3. Précipitations	5
II. CARACTERISTIQUES DES EAUX DE SURFACE	6
II.1. L'origine des eaux de surface	6
II.2. Relation eau souterraine-eau superficielle	6
II.3. Définition d'une source	6
II.4. Normes de la qualité des eaux de sources	7
II.5. Contamination des eaux de sources	9
II.6. Hydrochimie	9
II.7. Généralités sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques	10
II.7.1. Propriétés physico-chimiques	10
II.7.2. Ions majeurs des eaux naturelles	11
II.7.2.1. Cations majeurs des eaux naturelles	12
II.7.2.2. Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles	13

II.7.3. Propriétés microbiologique	14
II.8. Classification des eaux	16
II.9. Faciès chimiques des eaux	16
II.9.1. Diagramme de PIPER	17
II.9.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	18

PARTIE EXPERIMENTALE

III. MATERIELS ET METHODES	19
III.1. Présentation de la zone d'étude	19
III.2. Echantillonnage	20
III.3. Technique de Prélèvement	20
III.4. Calcul des balances ioniques	22
III.5. Etude des paramètres physico-chimiques	23
III.5.1. Etude des paramètres physiques	23
III.5.2. Etude des paramètres chimiques	23
III.5.2.1. Dosage des cations	23
III.5.2.1.1. Calcium et Magnésium	23
III.5.2.1.2. Sodium et Potassium	23
III.5.2.2. Dosage des anions	24
III.5.2.2.1. Dosage des bicarbonates (HCO_3^-)	24
III.5.2.2.2. Dosage des nitrates (NO_3^-)	24
III.5.2.2.3. Dosage des Chlorures	24
III.5.2.2.4. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})	24
III.5.2.3. Dosage des silices (SiO_2)	25
III.5.2.3. Dosage des éléments chimiques indicateurs de pollution	25
III.5.2.3.1. Dosage de l'ammonium	25
III.5.2.3.2. Dosage des nitrites	25
III.5.2.3.3. Dosage des phosphates	25
III.5.2.3. Dosage de la matière organique	26
III.6. Etude des paramètres microbiologiques	26

III.6.1. Recherche et dénombrement des Coliformes totaux, Coliformes fécaux	26
III.6.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux (Entérocoques)	29

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV. EXPLOITATION DES RESULTATS DE L'ANRH (2003-2004)

IV.1. Introduction	33
IV.2. Interprétation des résultats analytiques	33
IV.2.1. Caractères physico-chimiques	33
IV.2.1.1. pH	33
IV.2.1.2. Conductivité électrique et la minéralisation	34
IV.2.1.3. Dureté	36
IV.2.2. Paramètres de pollution	37
IV.2.2.1. Ammonium (NH ₄ ⁺)	37
IV.2.2.2. Nitrites (NO ₂ ⁻)	37
IV.2.2.3. Matière organique	37
IV.2.3. Anions	38
IV.2.3.1. Bicarbonates	38
IV.2.3.2. Nitrates	39
IV.2.3.3. Sulfates	40
IV.2.3.4. Chlorures	41
IV.2.4. Cations	42
IV.2.4.1. Calcium	42
IV.2.4.2. Magnésium	42
IV.2.4.3. Sodium	43
IV.2.4.4. Potassium	44
IV.2.2. Caractères microbiologiques	45
IV.2. Faciès chimiques des eaux	45

V. RESULTATS DE LA CAMPAGNE D'ANALYSE 2011

V.1. Analyses physico-chimiques des eaux des sources (campagne 2011).....	51
V.2. Analyses bactériologiques des eaux de sources.....	52
V.3. Faciès chimiques des eaux (campagne 2011).....	53

V.4. Interprétation des résultats de la période des hautes eaux pour l'année 2011 et l'année (2003-2004).....	55
V.5. Classification des eaux de sources	57
CONCLUSION GÉNÉRALE	60

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Situé au nord de l'Algérie, le Parc National de Chréa, a été créé en 1983 au centre de l'Atlas Blidéen où il s'étale sur une superficie de 26.587 ha. Il représente ainsi un espace de protection et de promotion des ressources naturelles dont la potentialité hydrique est importante et se distingue par de nombreux petits cours d'eau et plus de 80 sources [1].

La préservation des ressources naturelles est un enjeu très important dans le Parc, c'est pour cette raison que notre étude portera sur la protection et la valorisation des eaux de surfaces. Pour ce faire, l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources a été effectuée.

Dans ce sens, nous avons conforté nos résultats d'analyses (2011) avec ceux obtenus par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de l'année (2003-2004) et ce, dans le cadre du réseau d'observation de l'évolution de la qualité des eaux.

Le cheminement de notre étude, étant orientée d'une part vers le contrôle de l'évolution de la qualité microbienne et physico-chimique des eaux de sources du Parc National de Chréa et d'autre part vers la classification des sources étudiées (dureté, minéralisation, composition chimique) ainsi que la détermination du faciès chimique à partir des diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff. Ce document se composera de trois parties :

La première partie est consacrée à une recherche bibliographique sur les eaux de surface (définition eau de source, normes de qualités, hydrochimie, classification des eaux, faciès chimique) ainsi que la présentation du PNC.

La deuxième partie regroupe le matériel et les différentes méthodes mis en œuvre lors des analyses effectuées.

La dernière partie concerne l'exploitation des résultats de l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'année 2003-2004 effectuée par l'ANRH. Celle-ci va conforter nos résultats de la campagne 2011, ces résultats ont été tracés dans des graphes pour le suivi de leurs évolutions spatio-temporelles ainsi que leurs interprétations. Ensuite ils seront représentés dans des diagrammes afin de connaître le faciès chimique et la classification des eaux.

Liste des figures

Figure I.1: Carte des limites du Parc National de Chréa	2
Figure I.2. Eau de source de Chréa (Photo originale).....	5
Figure II.1. Diagramme de Piper	17
Figure II.2. Diagramme de SCHOLLER-BERKALOFF	18
Figure III.1. Carte de localisation géographique des différentes sources étudiées	19
Figure III.2: Appareil GPS utilisé (marque MAGELLAN).....	19
Figure III.3. Prélèvement et mesure des paramètres physico-chimiques sur le terrain.....	21
Figure IV.1. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes du pH des eaux de source du Décembre 2003 � Août 2004.....	33
Figure IV.2. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la conductivité électrique des eaux de source du Décembre 2003 à août 2004.....	35
Figure IV.3. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la minéralisation des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	35
Figure IV.4. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la dureté des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	36
Figure IV.5. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la matière organique des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	38
Figure IV.6. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des bicarbonates des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	39
Figure IV.7. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des nitrates des eaux de sources du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	40

Figure IV.8. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des sulfates des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	41
Figure IV.9. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des chlorures des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	41
Figure IV.10. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de Calcium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	42
Figure IV.11. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de magnésium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004	43
Figure IV.12. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de sodium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	44
Figure IV.13. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de potassium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.....	44
Figure IV.14. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ain Sbiha sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).....	46
Figure IV.15. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ruisseau des singes sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).....	47
Figure IV.16. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ain El Kaf Errachi sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).....	48
Figure IV.17. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ain Djahdjough sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).....	49
Figure IV.18. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Tala Zit sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).....	50
Figure V.1. Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources du PNC (Période hautes eaux) de l'année 2011.....	53

Figure V.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources du PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2011.....	54
Figure V.3. Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources du PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2011 et de l'année (2003-2004).....	55
Figure V.4. Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2011.....	56
Figure V.5. Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources du PNC (Période des hautes eaux) de l'année (2003-2004).....	56

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Normes légales de l'eau de consommation humaine pour l'Algérie et l'Europe	08
Tableau II.2. Limites de qualité bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine	09
Tableau III.1. Coordonnées des points d'eaux de sources du PNC	20
Tableau III.2. Débits moyens des eaux de source étudiées	21
Tableau IV.1. Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité	34
Tableau IV.2. Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité	34
Tableau IV.3. Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'O.M.S (1972)....	36
Tableau IV.4. Résultats des analyses bactériologiques des eaux des sources du PNC de l'année (2003-2004).....	45
Tableau V.1 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de sources du PNC (campagne 2011).....	51
Tableau V.2. Résultats des analyses bactériologiques des eaux des sources (Campagne 2011).....	52
Tableau V.3. Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF	54
Tableau V.4. Classification des eaux de sources en fonction de la minéralisation ...	57
Tableau V.5. Caractéristiques hydrochimiques des eaux en fonction de la minéralisation.....	57
Tableau V.6. Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la composition ionique.....	58
Tableau V.7. Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la dureté	59

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des Eaux

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

CE : Conductivité électrique

CF : Coliformes fécaux

CT: Coliformes totaux

CTT: Coliformes thermotolérants

GPS : Global Positionnement Satellite

MO : Matière organique

NPP: Nombre le plus probable

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel hydrogène

PE : Prise d'Essai

PNC : Parc National de Chréa

SF : Streptocoques fécaux

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

VG : Valeur Guide

I.1. Parc National de Chéra (présentation)

Le Parc National de Chéra, établissement public à caractère administratif, chargé de la protection et de la promotion des ressources naturelles, a été créé en 1983 par le décret n° 83 - 461 du 23 juillet 1983. Il chevauche les wilayas de Blida, de Médéa et d'Ain Defla, avec respectivement 67.1%, 32.6% et 0.30% de la superficie totale de son territoire, il s'étend sur une superficie de 26.587 ha [2].

I.1.1. Situation géographique

Le massif de l'Atlas Blidéen fait partie en Algérie des zones externes de la chaîne Alpine (BLES et *al.*, 1972) citée par [3]. Situé à 50 km au sud-ouest d'Alger, le Parc National de Chéra, qui est la partie centrale de l'Atlas Tellien, d'orientation générale sud-ouest / nord-est, s'étend entre les parallèles 36°36' et 36°00' et les méridiens 3°20' et 2°40' [1]. La plaine de la Mitidja constitue sa limite nord et l'Oued Mellah sa limite sud [4].

Administrativement, le parc national de Chéra se trouve confiné dans la wilaya de Blida, Médéa et chevauche les limites de la wilaya de Ain-Defla [5]; (figure I.1).

I.1.2. Cadre physique

I.1.2.1. Géologie du Parc National de Chéra

Du point de vue géologique, le massif de Chéra est très homogène et composé essentiellement de schistes plus ou moins argileux par endroits et rarement fossilifères. La concordance de toute la série schisteuse correspond au Crétacé inférieur (FAUREL, 1945) citée par [6] ; [7].

I.1.2.1.1. Description lithologique

La région étudiée n'offre pas une grande diversité de roches ; en effet, les formations les plus anciennes sont représentées par de puissantes assises de schistes argileux (dit : schiste de la Chiffa) avec quelques taches de calcaires jurassiques, puis viennent la formation composée d'Argile et quartzite et enfin le facies marneux qui se développe sur la bordure Nord du pied du contrefort de Blida.

a) Les schistes de la Chiffa :

Cette formation se présente comme une puissante assise de schistes argileux, très monotone, finement litée et intercalée de quartzite à sa partie supérieure. Ces schistes portent des traces de nombreux efforts tectoniques.

b) Les calcaires jurassiques :

Les terrains jurassiques sont très limités dans le secteur du Parc. On peut les rencontrer, en dehors de quelques lambeaux ou chicots isolés, qui viennent se placer entre les schistes précédents et le néocomien. Cette formation composée de calcaire, massifs, cristallins, parfois gréseux très tectonisés, comme en témoignent les affleurements de l'Oued-El-Kebir au sud de Blida et au Douar Bou-Zougua à l'Est du périmètre d'étude.

c) Les Argiles et quartzites du crétacé :

Les dépôts sont représentés par une épaisse série d'Argiles schisteuses avec grès et quartzites surmontées de marnes et de lentilles calcaire ; qu'on les trouve en plusieurs lambeaux discontinus. Ils sont d'âge de crétacé inférieur.

d) Les formations marneuses :

Les facies marneux sont constitués en vérité de marnes feuilletés avec des rognons de calcaire passant en quelques points à des calcaires marneux, d'épaisseur inégale.

e) Les dépôts quaternaires :

Les terrains quaternaires regroupent aussi bien les alluvions récentes anciennes qui dominent des vallées, que les alluvions récentes du fonds des Oueds [8].

I.1.2.2. Hydrographie

Le Parc National de Chréa présente, de par sa position géographique, une potentialité hydrique importante. C'est une zone très arrosée: 1000 mm de précipitations sur les sommets et les zones d'altitude du versant nord, et autour de 900 mm pour la majorité des stations. La composante hydrographique de ce territoire est divisée en deux grandes parties appartenant aux deux bassins versants des oueds El Harrach et Mazafran [2].

Le partage des eaux est naturellement fait; d'une part par la ligne de crêtes (d'orientation nord-est, sud-ouest) reliant les massifs de djebel Mermoucha, Djebel Ferroukha, et Djebel Guerroumène, et d'autre part par la ligne de crête orientée du nord vers le sud à partir de Djebel Guerroumène (Koudiat Sidi Abdelkader) jusqu'au point coté 1297 à Takitount, en croisant Djebel Sidi Mohamed.

Ces deux lignes de crêtes scindent le territoire du parc national de Chréa en deux zones distinctes d'orientation sud-est et nord-ouest. Les eaux collectées au nord du parc se déversent dans l'oued Mazafran et la partie sud-est afflue vers l'oued El-Harrach. Les eaux du parc liées au bassin versant de l'oued El Harrach sont principalement drainées par Oued Maktaa (dont les principaux affluents sont Oued Kerrach, Oued Tamda, Oued Edhib, Oued Taberbout, oued Isselsel, et Oued Boussaad), et Oued Maâne (drainant les eaux situées au sud de cette partie). L'Oued Maâne constitue la limite sud-est du parc [1].

A ceux-là s'ajoutent de nombreux petits cours d'eau et plus de 80 sources [5],

La figure I.2 montre une eau de source de Chréa (Ruisseau des singes). Elle se caractérise par un débit d'eau important 64 l/s, qui s'écoule tout au long de l'année.



Figure I.2. Eau de source de Chréa (Photo originale)

I.1.2.3. Précipitations

Le Parc National de Chréa est compris entre les isohyètes 760 et 1400 mm/an de précipitations moyennes annuelles. Pour les précipitations journalières, il a été d enomb er e sur la base de 30 années d'observation soit 10958 jours, 2820 jours pluvieux à la station de Chréa et presque le même nombre à la station de Blida.

Dans l'ensemble, les moyennes mensuelles des précipitations annuelles sont plus importantes dans les stations situées sur le versant Nord Ouest que dans les stations situées sur le versant Sud Est. Les stations les plus arrosées font face aux vents humides venant du Nord Ouest [2].

II.1. Origine des eaux de surface

Les eaux de surface ont pour origine, soit les nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenue de barrage) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable [9].

II.2. Relation eau souterraine-eau superficielle

Aux limites amont, aval, latérales et supérieures d'un aquifère, des échanges importants peuvent avoir lieu avec les eaux de surfaces.

Ainsi, en tout point d'un aquifère libre et dans les secteurs amont d'un aquifère captif, l'infiltration des eaux de précipitations et de ruissellement permet une recharge en eau de la nappe aquifère. L'infiltration des eaux de rivières et de lacs peut aussi contribuer de façon significative à la recharge de la nappe. Latéralement, d'autres aquifères peuvent par ailleurs alimenter la nappe. Inversement, les écoulements de la nappe en aval peuvent alimenter des sources, des rivières, des lacs ou même directement les océans, ainsi que d'autres aquifères.

L'ensemble de ces échanges constitue des conditions aux limites dont la quantification est nécessaire et permet la compréhension de la dynamique du système hydrogéologique (OLIVIER, 1999) cité par [10].

II.3. Définition d'une source

Les sources présentent l'émergence des eaux souterraines, elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses. On distingue trois types de sources :

Les sources d'affleurement, pour lesquelles l'approvisionnement s'effectue sur un fond imperméable dans la vallée.

Les sources d'émergence, ou artésiennes, qui sont alimentées par la couche inférieure de la nappe (ces sources sont plus susceptibles de tarissement). Leur débit est en principe uniforme et presque constant durant toute l'année, tandis que le rendement des autres types de sources dépend du niveau de la nappe et des précipitations saisonnières.

Les sources de déversement, naissent sur les pentes au-dessus du fond des vallées [11].

En règle générale, les sources jaillissent ou augmentent leur débit quand la pluie ou la fonte des neiges alimente les réserves souterraines.

Les eaux de source sont des eaux naturellement propres à la consommation humaine [12] ; on parle alors d'eau potable, ces eaux peuvent également être embouteillées.

II.3.1. Définition légale

C'est une eau d'origine exclusivement souterraine, apte à la consommation humaine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution.

Le texte signale le fait que les eaux de sources doivent provenir d'une nappe ou d'un gisement souterrain, exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, à proximité desquelles l'eau est conditionnée. Cette dernière ne peut faire l'objet d'aucun traitement ou adjonction autre que :

- La séparation des éléments instables et la sédimentation des matières en suspension par décantation ou par filtration
- L'incorporation de gaz carbonique ou la dégazéification [13].

Par ailleurs pour SCHOELLER, une eau de source a une composition physico-chimique qui n'est pas constante, contrairement aux eaux minérales [14].

II.4. Normes de la qualité des eaux de sources

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transmission hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. Elle doit par ailleurs, être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable. En outre l'eau destinée à la consommation doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une contamination ainsi que toute substance toxique [15].

Le décret exécutif du 22 mars 2011, relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, fixe les proportions d'éléments contenus dans les eaux de consommation. Les seuils arrêtés par la réglementation algérienne relatifs à ce type d'eaux sont comparés aux normes de potabilité selon la réglementation européenne (**Directive, 1998**), On note que cette dernière est conforme à la directive de l'organisation mondiale de la santé (Directive de qualité pour l'eau de boisson) [16], [17].

Le Tableau II.1 donne cette comparaison et indique que pour ce type d'eau, les valeurs du seuil fixées pour chaque élément ou substance sont globalement comparables pour les deux législations, algérienne et européenne.

Tableau II.1 : Normes légales de l'eau de consommation humaine pour l'Algérie et l'Europe [16], [17], [18].

Valeurs maximale admissible selon les norme				
caractéristiques	Symboles	Unités	Algériennes (Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011)	Européennes (Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998)
Caractéristiques physico-chimiques				
pH	-	-	6.5-9	6.5-9.5
Conductivité à 20°C	-	µs/cm	2800	2500
Chlorures	Cl	mg/l	500	250
Sulfates	SO ₄	mg/l	400	250
Calcium	Ca	mg/l	200	-
Magnésium	Mg	mg/l	150	50
Sodium	Na	mg/l	200	200
Potassium	K	mg/l	12	12
Aluminium total	Al	mg/l	0.2	0.2
Substances indésirables				
Nitrates	NO ₃	mg/l	50	50
Nitrites	NO ₂	mg/l	0.2	0.5
Ammonium	NH ₄	mg/l	0.5	0.5
Fer	Fe	mg/l	0.3	0.2
Manganèse	Mn	mg/l	0.05	0.05
Cuivre	Cu	mg/l	2	2
Zinc	Zn	mg/l	5	3
Argent	Ag	mg/l	0.1	0.01
Fluorures	F	mg/l	1.5	1.5
Azote	N	mg/l	1	1
Substances toxiques				
Arsenic	As	mg/l	0.01	0.01
Cadmium	Cd	mg/l	0.003	0.005
Cyanure	Cn	mg/l	0.07	0.05
Chrome	Cr	mg/l	0.05	0.05
Mercure	Hg	mg/l	0.006	0.001
Plomb	Pb	mg/l	0.01	0.01
Sélénium	Se	mg/l	0.01	0.01
Benzo (1, 2, 3-cd) pyrène	-	µg/l	0.01	0.01

Cependant, lorsque la concentration ou le nombre de bactéries contenues dans une eau dépasse les limites admises (Tableau II.2), l'eau devient impropre à la consommation [17].

Détermination	Normes
Coliformes totaux	< 10/100 ml
Coliformes fécaux	Absence
Streptocoques	Absence

Tableau II.2. Limites de qualité bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine [17].

II.5. Contamination des eaux de sources

La pollution des eaux de sources est due à des micro-organismes d'origine fécale, elle est reliée au rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF).

Lorsque ce rapport CF/SF est supérieur à 4, la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées) [19]. Lorsqu'il est inférieur à 0,7, l'origine est animale, notamment le bétail et en particulier les moutons, les vaches, les sangliers, qui semblent jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau [20].

II.6. Hydrochimie

L'hydrochimie étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux [21].

L'étude hydrochimique donne des informations à l'hydrogéologie, elle permet de comparer les eaux entre elles et trouver une solution pour les besoins d'alimentation [22].

Elle est basée sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés, ces analyses portent sur :

1- Eléments chimiques majeurs:

- Les cations: Ca^+ , Mg^{++} , Na^+ et K^+ .
- Les anions: HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- et Cl^- .

2- Paramètres physico-chimiques:

Le pH, la température, la conductivité, la turbidité, le résidu sec [23].

II.7. Généralités sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques

La qualité de l'eau dépend de la présence de polluants en fonction de leur quantité, de facteurs physiques et chimiques tels que le pH, la conductivité, la quantité de sels présents et de la présence ou non d'éléments indésirables. L'activité humaine a beaucoup d'influence sur ces facteurs, en rejetant leurs déchets dans l'eau et ajoutant ainsi toutes sortes de substances et de polluants qui ne sont pas présents naturellement dans l'eau.

II.7.1. Propriétés physico-chimiques

II.7.1.1. pH

Le pH est, par définition une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une eau :

$$pH = - \log (H^+) \quad (II.1)$$

Du fait de l'équilibre de dissociation de l'eau, le pH est relié à la teneur en ions OH^- et aussi à l'acidité et l'alcalinité de l'échantillon [24].

Le pH joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- Dans les processus biologiques (dont certains exigent des limites très étroites de pH).
- Dans l'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion).
- La détermination du pH est donc l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment [24].

II.7.1.2. Température

Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, et dans la dissolution des sels dissous, donc sur la conductibilité. Ce paramètre est très important à connaître, car il

permet de différencier les eaux qui circulent près de la surface de celles qui circulent en profondeur, et donc la qualité de l'eau [22].

II.7.1.3. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.

L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de la turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle du traitement des eaux brutes.

La mesure de la turbidité de l'eau peut s'effectuer en utilisant l'effet Tyndall ou l'opacimétrie. L'effet Tyndall est utilisé plus spécialement pour la mesure des faibles turbidités (eau de boisson), l'opacimétrie est appliquée aux eaux de fortes turbidités (eaux brutes, eaux résiduaires). Quel que soit le principe utilisé, l'appareil nécessite un étalonnage [24].

II.7.1.4. Conductivité

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C [24].

II.7.1.5. Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes d'une eau.

Le résidu sec déterminé à 180 °C est celui qui se rapprocherait le plus de la somme des différents résultats d'analyses, il est pratiquement exempt d'eau de cristallisation [24].

II.7.2. Ions majeurs des eaux naturelles

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonates.

II.7.2.1. Cations majeurs des eaux naturelles

Les eaux naturelles contiennent toujours des sels minéraux et une grande part de l'analyse chimique d'une eau consiste à doser les cations et les anions les plus abondants.

Dans les eaux naturelles, les cations les plus abondants sont le calcium, (Ca^{2+}), le magnésium, (Mg^{2+}), puis le sodium, (Na^+), et enfin le potassium, (K^+). D'autres cations peuvent être présents dans l'eau, mais généralement à des teneurs plus faibles : C'est le cas du fer et du manganèse. On les considère comme des cations mineurs [25].

II.7.2.1.1. Calcium

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. On a constaté que la lixiviation du calcium à partir du sol augmentait nettement avec l'acidité de l'eau de pluie [26].

II.7.2.1.2. Magnésium

C'est un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique, de la dissolution de MgSO_4 dans les terrains gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens [22].

II.7.2.1.3. sodium et potassium

Le sodium et le potassium sont les sixièmes et septièmes éléments les plus abondants à l'état naturel. Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles, en proportions très variables. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols [24].

Le potassium : bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence, est à peu près constante dans les eaux naturelles et ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l [27].

Le sodium est beaucoup plus abondant que le potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables.

Il provient du lessivage des formations riches en NaCl (argile et marne) [22].

II.7.2.2. Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles

Outre les ions bicarbonates HCO_3^- , dont la teneur peut être déduite de l'alcalinité, les deux autres anions majeurs des eaux naturelles sont l'ion chlorure et l'ion sulfate. L'eau peut contenir de nombreux autres anions comme des carbonates, des silicates, des nitrates, des phosphates, des fluorures mais, généralement, leur teneur est beaucoup plus faible, souvent négligeable [25].

II.7.2.2.1. Bicarbonates (HCO_3^-)

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre : « la roche – l'eau et le gaz carbonique » selon l'équation générale suivante :



Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est fonction de :

- la nature des terrains traversés ;
- la température de l'eau ;
- et la pression du CO_2 [23].

Remarque

L'élément (X) peut être le (Ca^{2+}) ou le (Mg^{2+}), il est plus probable que ce soit le Ca^{2+} , car le Mg^{2+} est très soluble, sauf si l'eau est thermale.

II.7.2.2.2. Chlorures

L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en proportion très variable. Ainsi, les eaux provenant de régions granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage. D'ailleurs la teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau [25].

Les chlorures peuvent être localement impliqués dans les pluies acides et phénomènes d'acidification d'eaux superficielles ou souterraines [23].

II.7.2.2.3. Sulfates

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours du sulfate, en proportions très variables. Leur présence résulte de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (comme par exemple, les pyrites FeS_2).

Les fortes concentrations de sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux, elles peuvent donner un goût désagréable à l'eau, et créer des dépôts tenaces dans les chaudières [25].

II.7.2.2.4. Nitrates

Les nitrates sont des composés chimiques naturellement présents dans l'environnement, notamment dans les eaux et dans les sols.

Ces dernières décennies, des concentrations croissantes de nitrates ont été observées dans les eaux suite à des pollutions anthropiques, principalement d'origine agricole : pratiques intensives, modes de culture et d'élevage avec épandage massif d'effluents, d'engrais, *etc.* [28]. La concentration maximale admissible est de 50 mg/L en NO_3^- ou 1 mg/L en N [17].

En plus des bicarbonates, des chlorures, des sulfates et des nitrates, parmi les anions que l'on peut trouver dans les eaux naturelles, il faut citer :

La Silice, qui peut être relativement abondante dans les régions granitiques. Aux pH usuels des eaux naturelles, la silice se présente surtout sous forme covalente : $[\text{Si}(\text{OH})_4]$. Elle tend à polymériser et à donner ainsi des colloïdes.

Dans les eaux naturelles, la silice peut se trouver à des teneurs de 1 à 50 mg/L environ. La silice est d'ailleurs utilisée, en traitement de l'eau, comme aide coagulant ou pour prévenir la corrosion des conduites [25].

II.7.3. Propriétés microbiologiques

II.7.3.1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase

permettant l'hydrolyse du lactose à 35 °C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié.

Les principaux genres inclus dans le groupe sont : *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia*. La presque totalité des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* (*E. coli*) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes [29].

II.7.3.2. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Entérobactérie* et *Klebsiella*.

Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire.

Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction [30].

II.7.3.3. Streptocoques fécaux

La classification générale des streptocoques fécaux a été modifiée dans les années 80 par la création d'un nouveau genre, *Entérocoques*. Dans ce contexte, plusieurs espèces appartenant antérieurement au genre *Streptococcus* ont été transférées vers le genre *Enterococcus*, ce dernier correspondant, *grosso modo*, aux streptocoques du groupe sérologique D de la classification de Lancefield.

Quant aux streptocoques du groupe D susceptibles de contaminer les eaux d'approvisionnement, ils sont plutôt typiques des déjections animales, comme *Streptococcus bovis*, *S. equinus*, *S. gallolyticus* et *S. alactolyticus* [31].

II.8. Classification des eaux

Les nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une eau, induisent l'utilisation de représentations graphiques. L'objectif principal est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques voisines ou de proximité géographique.

II.9. Faciès chimiques des eaux

La concentration la plus prépondérante de chacun des éléments majeurs va donc revêtir une signification particulière en ce qui concerne une eau. Afin de mieux cerner cette signification, il a été défini une notion de « faciès » qui rend compte des proportions relatives des différents ions en solution dans l'eau. Le faciès d'une eau est défini par l'anion et le cation prédominants. Il peut être complété par un faciès secondaire.

La représentation des données physico-chimiques sur des diagrammes montre plusieurs faciès chimiques qui dépendent de la nature géologique de l'aquifère, des activités agricoles et industrielles [32]. Les deux graphiques de Schoeller-Berkaloff et de Piper sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes.

II.9.1. Diagramme de PIPER

Le diagramme de Piper représente les proportions des ions majeurs dans une eau. La composition de l'eau est représentée dans des diagrammes ternaires, un pour anions et un pour les cations, les pôles sont Ca, Mg, Na+K pour les cations (la somme de ces quatre cations en eq/L est considérée comme égale à 100%) et Cl+NO₃, SO₄, HCO₃ pour les anions les deux diagrammes ternaires sont projetés dans un losange, dans lequel on a défini des aires qui correspondent à chaque type d'eau (bicarbonatée calcique...). Ce diagramme est pratique car il permet de déterminer tout de suite la typologie d'une eau et de représenter de nombreux points sur un même diagramme, il demande néanmoins une certaine habitude pour sa lecture.

Sur un diagramme de Piper, on peut aussi représenter des droites de mélange. Néanmoins, celui-ci ne donne pas la minéralisation totale d'un échantillon [33].

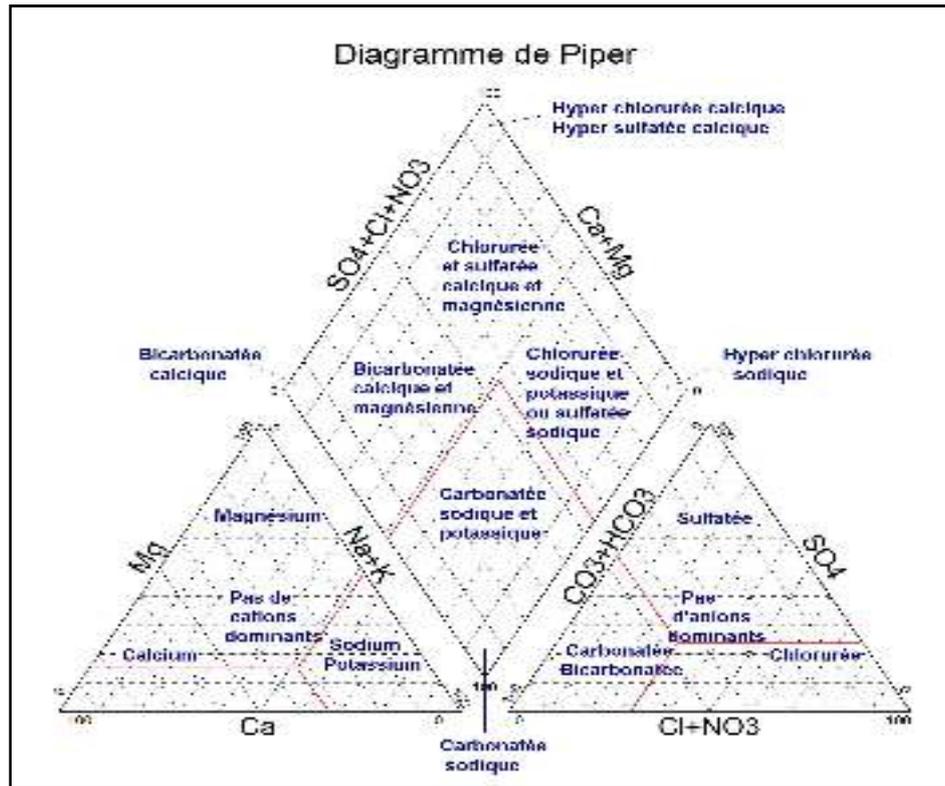


Figure II.1. Diagramme de Piper [33].

II.9.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

Le diagramme de Schoeller est plus simple dans sa conception, puisque la concentration de chaque ion est représentée par un point sur un axe logarithmique vertical, les ions étant reliés par une ligne qui représente l'échantillon. L'ordre des ions sur l'axe des abscisses étant défini (Ca, Mg, Na+K, Cl+NO₃, SO₄, HCO₃), la forme de la ligne permet, avec une certaine habitude de connaître le type d'eau.

Le diagramme de Schoeller présente l'avantage de visualiser de plus la minéralisation de l'échantillon. Il permet de connaître le pH d'équilibre et par la même occasion, de déterminer le caractère agressif ou incrustant d'une eau.

Ce diagramme est plus pratique, car il permet de déterminer la potabilité et la qualité de l'eau telle que (mauvaise, médiocre, passable, bonne, potable.....etc), mais il a l'inconvénient d'être illisible s'il contient plus une dizaine d'échantillons, et le mélange ne peut être suivi [33].

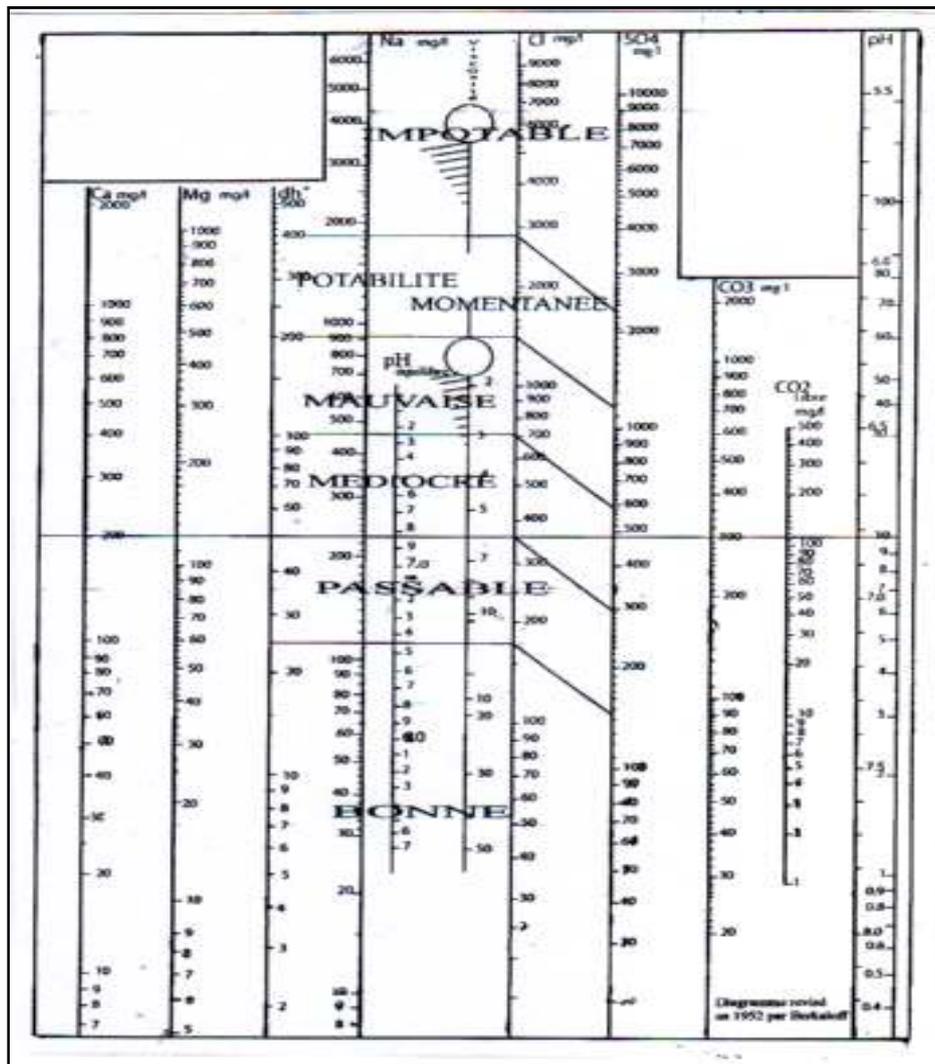


Figure II.2. Diagramme de SCHOLLER-BERKALOFF [33].

En raison des avantages et inconvénients respectifs des deux types de diagrammes, il apparaît judicieux, lors des phases d'explorations des données, d'utiliser les deux représentations.

III.1. Présentation de la zone d'étude

La région d'étude est située dans la partie occidentale du parc national de Chréa, au niveau de la commune de Bouaarfa, Chiffa et Béni Ali. Ces sites d'étude ont été choisis afin de comparer nos résultats expérimentaux et ceux de l'Agence National des ressources hydriques. La position des points d'eaux retenus dans l'étude est représentée sur la cartographie ci-dessous (Figure.III.1).

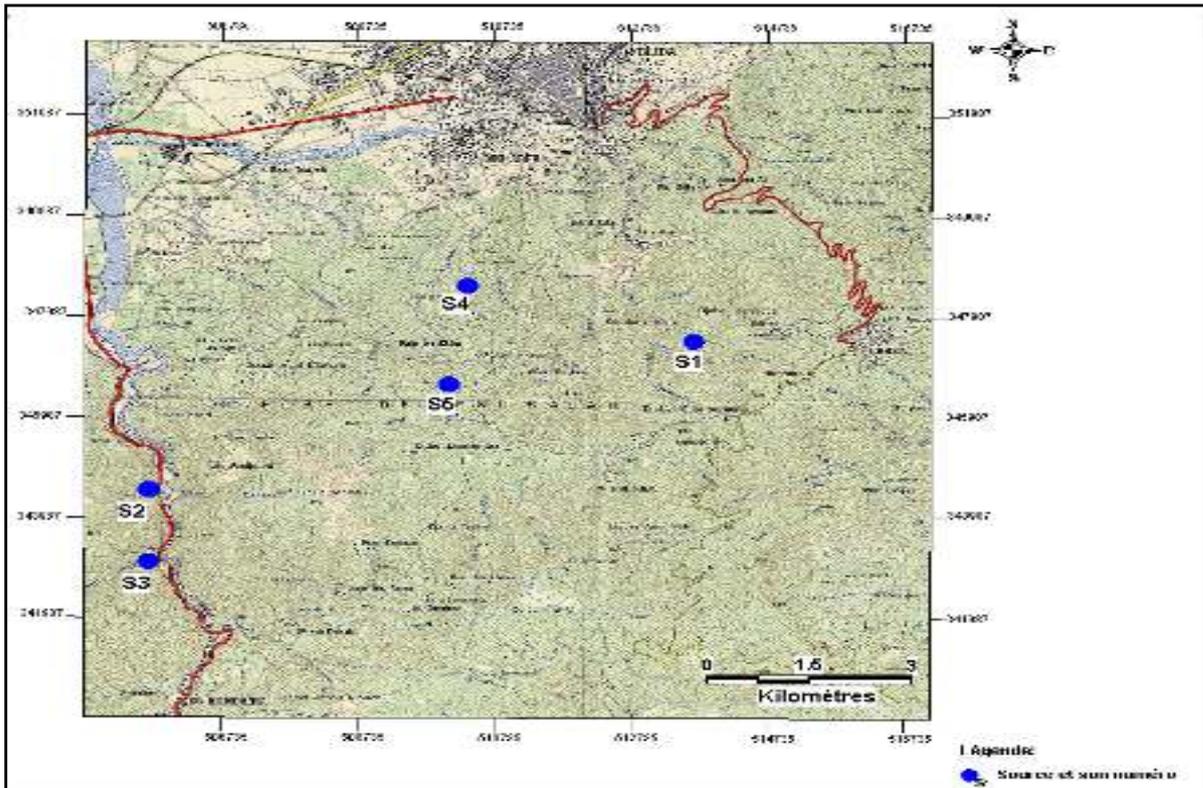


Figure III.1. Carte de localisation géographique des différentes sources étudiées.

Les coordonnées géographiques en degrés, minutes, secondes sont prises pour chaque point d'eau à l'aide d'un appareil (GPS), (figure III.2).



Figure III.2. Appareil GPS utilisé (marque MAGELLAN).

Le Tableau III.1 montre les différentes sources qui ont fait l'objet du suivi mensuel pendant la durée de notre étude.

N°	Nom de la source	X(Km)	Y(Km)	Z (Km)
S1	Ain Sbiha	513,675	347,500	0,520
S2	Ruisseau des Singes	505,700	344,500	0,310
S3	Ain El Kaf Errachi	505,700	343,100	0,285
S4	Ain Djaghdjough	510,350	348,600	0,530
S5	Tala Zit	510,100	346,650	1,090

Tableau III.1. Coordonnées des points d'eaux de sources du PNC.

III.2. Echantillonnage

L'échantillonnage est une action qui consiste à prélever une partie considérée comme représentative d'une masse d'eau en vue de l'examen de diverses caractéristiques définies.

Dans notre étude expérimentale, les échantillons destinés à l'analyse physico-chimique et bactériologique sont prélevés une fois par mois pendant toute la durée de notre étude.

III.3. Technique de Prélèvement

III.3.1. Analyses physico-chimiques

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; d'une façon générale l'échantillon doit être homogène et représentatif [24].

Les prélèvements au niveau des sources sont effectués au trop plein (figure III.3), les flacons seront de nouveau rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport. L'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le code de la source et la date.

Une fois le prélèvement est réalisé, les flacons sont placés dans une glacière à 4°C environ, puis transportés vers le laboratoire où les analyses doivent être effectuées le plus tôt possible.

Plusieurs campagnes de prélèvements d'échantillons d'eau destinées aux analyses physico-chimiques ont été effectuées, ces campagnes d'échantillonnage ont été réalisées au cours des mois d'Avril et de Mai 2011 durant la période de hautes eaux dans le but de mieux suivre l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux.

Le suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de sources durant la période des basses eaux 2011 ne pourra pas être effectué vu le temps limité du mémoire.

Durant toutes les campagnes, des mesures de la température, pH et la conductivité électrique (à 20°C), ont été effectuées in situ à l'aide d'un appareil de type CRISON MM 40 (figure III.3).



Figure III.3. Prélèvement et mesure des paramètres Physico-chimiques sur le terrain.

En outre, des mesures de débit des sources ont été effectuées (Tableau III.2).

N°	Nom de la source	Débit moyen (l/s)
S1	Ain Sbiha	0.67
S2	Ruisseau des Singes	63.7
S3	Ain El Kaf Errachi	26
S4	Ain Djaghdjough	0.9
S5	Tala Zit	1.25

Tableau III.2. Débits moyens des eaux de source étudiées.

III.3.2. Analyses bactériologiques

Les prélèvements pour les analyses bactériologiques ont été effectués dans des conditions d'asepsie hautement respectées, en procédant de la manière suivante :

- Essuyer l'orifice du robinet.
- Bien flamber le robinet.
- Laisser couler l'eau pendant quelques minutes, le débit est bien régler afin de faciliter le remplissage des flacons.
- Ouvrir le bocal stérile au moment du prélèvement tout en maintenant la flamme allumée au pré du point de prélèvement.

Les échantillons doivent être prélevés dans des flacons stériles avec toutes les précautions d'asepsie nécessaires.

Ils doivent être soumis à l'analyse le plus rapidement possible (au plus tard dans les 24 heures suivant le prélèvement) et conserver à une température entre +1°C et +4°C.

III.4. Calcul des balances ioniques

La qualité des analyses chimiques peut être appréciée par le calcul de la balance ionique de l'eau.

En effet, l'erreur de la balance ionique est calculée par le rapport de la différence des anions et des cations sur leur somme :

$$E = \left| \frac{(\sum \text{cations} - \sum \text{anions})}{(\sum \text{cations} + \sum \text{anions})} \times 100 \right|$$

Pour une erreur E inférieure à 5 %, l'analyse sera considérée acceptable; dans le cas contraire, elle sera rejetée ou remise en question.

Les balances ioniques calculées témoignent d'une bonne qualité des analyses (la balance ionique, exprimée en valeur absolue, est inférieure à 5 %) (**Annexe I**).

III.5. Etude des paramètres physico-chimiques

III.5.1. Etude des paramètres physiques

L'origine de l'eau ainsi que sa solubilité est gérée par un certains nombre de paramètres qui sont :

La température (T°), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité (σ) et les résidus secs.

III.5.1.1. Mesure de la température

La mesure est effectuée sur le lieu de prélèvement de l'échantillon, à l'aide d'un thermomètre.

On procède à la détermination de la température en lisant la valeur sur le thermomètre.

III.5.1.2. Mesure du pH et de la conductivité

Les mesures du pH et la conductivité électrique sont effectuées à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductivimètre.

III.5.1.3. Résidus secs

Principe

Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé [24].

III.5.2. Etude des paramètres chimiques

III.5.2.1. Dosage des cations

III.5.2.1.1. Calcium et Magnésium

Dosage du calcium et magnésium par complexométrie

Principe

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (EDTA) à pH 10. Le noir érichrome T qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur [24].

III.5.2.1.2. Le Sodium et le Potassium

Méthode photométrique de flamme

Principe

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable, à un niveau énergétique supérieur à la normale (on dit que les atomes sont excités par la flamme).

On sélectionne la radiation attendue au moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme étalon pour chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photomètre de flamme [24].

III.5.2.2. Dosage des anions

III.5.2.2.1. Dosage des bicarbonates (HCO_3^-)

Principe

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution dilué nécessaire pour neutraliser, au niveau de $\text{pH}=8.3$ et 4.3 , le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) [24].

III.5.2.2.2. Dosage des nitrates (NO_3^-)

Principe

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur.

Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie: diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec l' α -Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520 nm [24].

III.5.2.2.3. Dosage des Chlorures

Principe

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm [24].

III.5.2.2.4. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Principe

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm [24].

III.5.2.3. Dosage des silices (SiO₂)

Méthode par flux continu

Principe

Les silicates solubles réagissent en milieu acide avec le molybdate d'ammonium pour former un composé silicomolybdique qui, réduit en bleu de molybdène, est susceptible d'un dosage spectrophotométrique (longueur d'onde de 810 nm).

Les interférences des phosphates sont éliminées en ajoutant une solution d'acide oxalique [24].

III.5.2.3. Dosage des éléments chimiques indicateurs de pollution

III.5.2.3.1. dosage de l'ammonium

Principe

Le dosage se fait au spectrophotomètre à environ 655 nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium [24].

III.5.2.3.2. Dosage des nitrites

Méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire

Principe

La diazotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrophotométrique [24].

III.5.2.3.3. Dosage des phosphates

Principe

Le molybdate d'ammonium Mo₇(NH₄)₄H₂O réagit en milieu acide en présence de phosphate en donnant un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique développe une coloration bleue (bleu de molybdène) susceptible d'un dosage colorimétrique [24].

III.5.2.3. Dosage de la matière organique

Principe

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid. Ce test permet d'apprécier la teneur en matière organique en même temps que la présence d'autres substances réductrices.

L'eau est portée à ébullition en présence d'une solution de permanganate de potassium dont l'excès est dosé après 10 minutes exactement [9], [24].

Remarque : tous les modes opératoires qui consistent aux analyses physico-chimiques sont cités en **Annexe II**.

III.6. Etude des paramètres microbiologiques

L'analyse bactériologique de l'eau va être destinée principalement à mettre les risques de pollution en évidence. Il est important donc de répertorier les sources de pollution microbiologiques en fonction des différents usages de l'eau, et de bien connaître les effets chez l'homme (pathologies hydriques) afin de mieux évaluer ces facteurs de risque [34].

III.6.1. Recherche et dénombrement des Coliformes totaux, Coliformes fécaux

Les coliformes se présentent sous forme de Bacilles Gram négatifs (BGN), non sporogènes, oxydase négative, aéro-anaérobies facultatifs, capables de croître en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acides et de gaz, en 24 à 48 heures à 37°C.

Les coliformes sont considérés comme indices de contamination fécale.

La recherche et le dénombrement des coliformes peuvent se faire selon deux méthodes de choix :

- Soit en milieu liquide sur BCPL par la technique du NPP (Nombre le Plus Probable).
- Soit par filtration sur membrane à 0,45 µ en milieu solide en supposant la disponibilité d'une rampe de filtration [35].

Dans notre cas on a choisi la technique en milieu liquide.

III.6.1.1. Technique en milieu liquide sur BCPL

La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- le test de présomption : réservé à la recherche des Coliformes totaux.
- le test de confirmation : encore appelé test de Mac Kenzie et réservé à la recherche des Coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

a) Test de présomption.

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

• L'ensemencement

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham, comme l'indique le schéma n° 1.

La cloche ne doit pas contenir de gaz au départ.

• L'incubation

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

• La lecture

La lecture se fait après 48 heures d'incubation, tous les tubes présentant une culture avec un virage de bouillon au jaune et gaz dans la cloche du durham sont considérés comme positifs c'est-à-dire contenant des coliformes.

On note le nombre de tubes positifs dans chaque série et se reporte au tableau NPP

(Annexe III) [35], pour obtenir le nombre de coliformes présents dans 100 ml d'eau.

Cette phase de la colimétrie est basée sur la propriété commune aux coliformes de fermenter le lactose en produisant du gaz.

b) Test de confirmation**• L'ensemencement**

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des Coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une öse bouclée dans tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham, comme l'indique le schéma n°2.

• Incubation

L'incubation se fait cette fois-ci au bain marie à 44°C pendant 24 heures.

• Lecture Sont considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- un dégagement gazeux,
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par Escherichia Coli après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP en tenant compte du fait qu'Escherichia Coli est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44°C [35].

Schéma n°1
Colimétrie en milieu liquide : Test de présomption

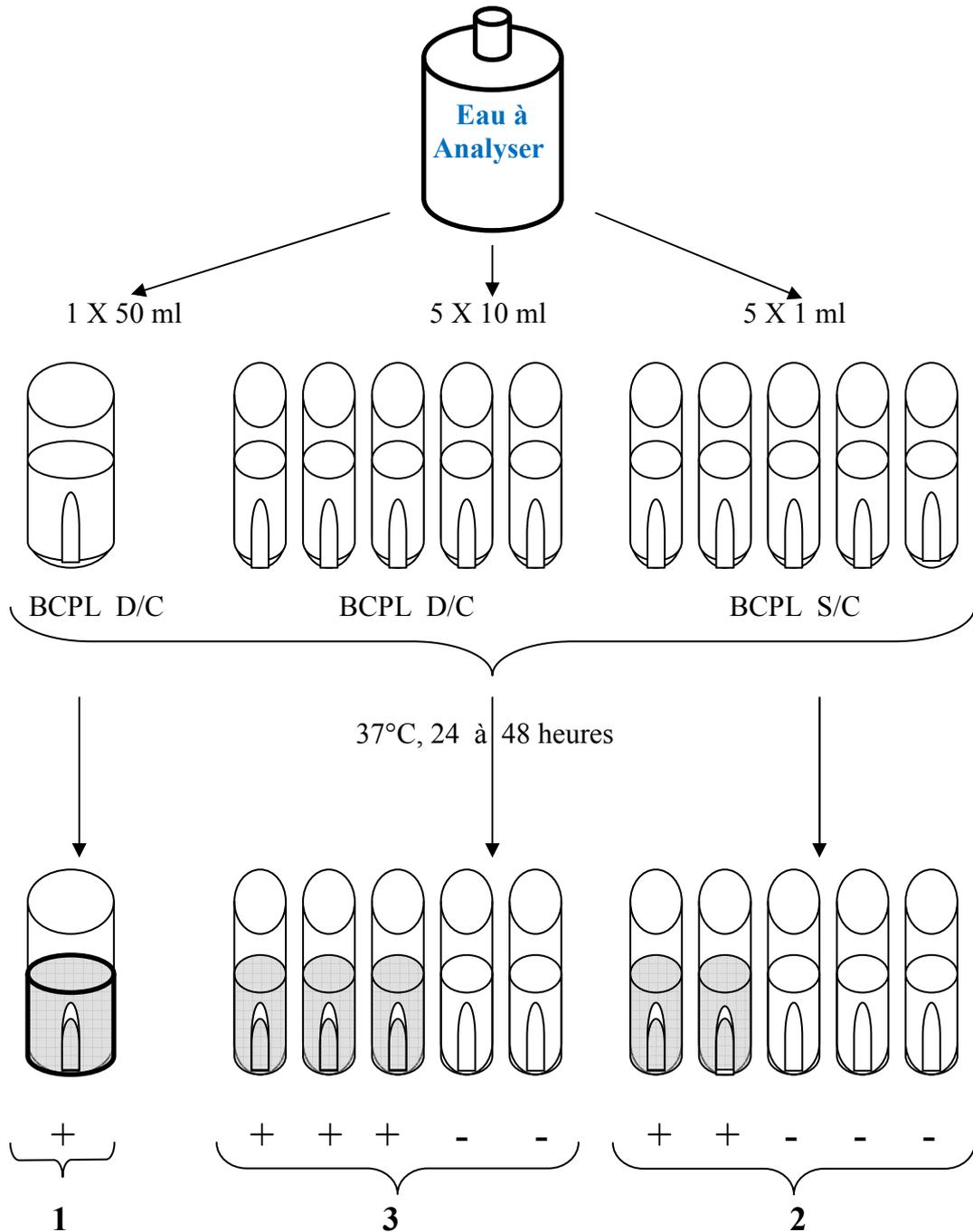
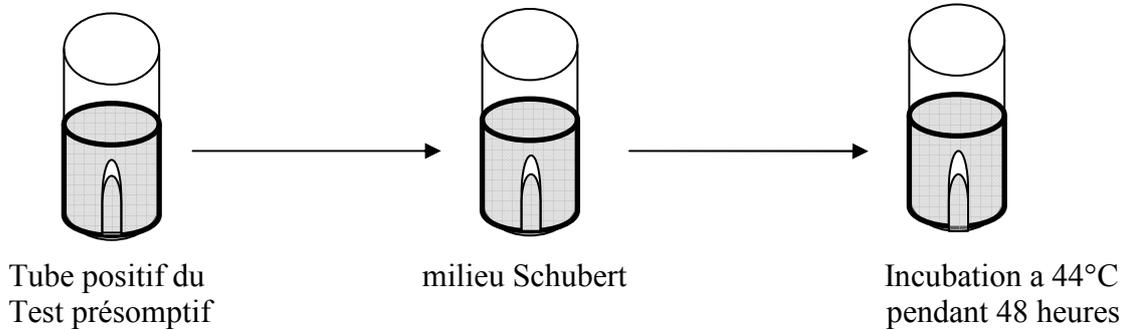


Schéma n°2
Colimétrie en milieu liquide : Test de confirmation



Remarque :

Etant donné que les Coliformes fécaux font partie des Coliformes totaux, il est pratiquement impossible de trouver plus de Coliformes fécaux que de Coliformes totaux [35].

III.6.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux (Entérocoques)

Les Streptocoques fécaux se présentent sous forme de coccie à Gram +, ils sont capables de se développer en 24 à 48 heures à 37°C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractéristiques réduisant le TTC et qui de plus hydrolysent l'esculine en 48 heures à 44°C après repiquage d'une colonie sur une gélose biliée à l'esculine.

Leur recherche et leur dénombrement peut se faire de la même manière que pour les coliformes, c'est à dire le dénombrement est basé sur la succession de deux milieux liquides : présomptif et confirmatif [36].

III.6.1.1. Technique en milieu liquide sur BCPL

Tout comme la méthode de recherche des coliformes en milieu liquide, celle de la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- le test de présomption

- le test de confirmation : réservé à la confirmation réelle des Streptocoques fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

a) Test de présomption

• **ensemencement**

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu ROTHE D/C,
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE D/C,
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C, comme l'indique le Schéma n° 3.

Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

• **Incubation**

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

• **Lecture**

Sont considérés comme positifs les tubes présentant un trouble microbien, seulement ces derniers :

- ne doivent en aucun cas faire l'objet de dénombrement.
- doivent par contre, absolument faire l'objet d'un repiquage sur milieu LITSKY EVA dans le but d'être confirmés.

b) Test de confirmation

• **L'ensemencement**

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoques fécaux éventuellement présents dans le test de présomption.

Les tubes de ROTHE trouvés positifs feront donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'une öse bouclée dans tube contenant le milieu LITSKY EVA, comme l'indique le schéma n°4.

Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

• **Incubation**

L'incubation se fait cette fois-ci à 37°C, pendant 24 heures.

• **Lecture**

Sont considérés comme positifs, les tubes présentant *à la fois* :

- un trouble microbien, et
- une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP qui figure en annexe II [35].

Schéma N°3
Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide
Test de Présomption

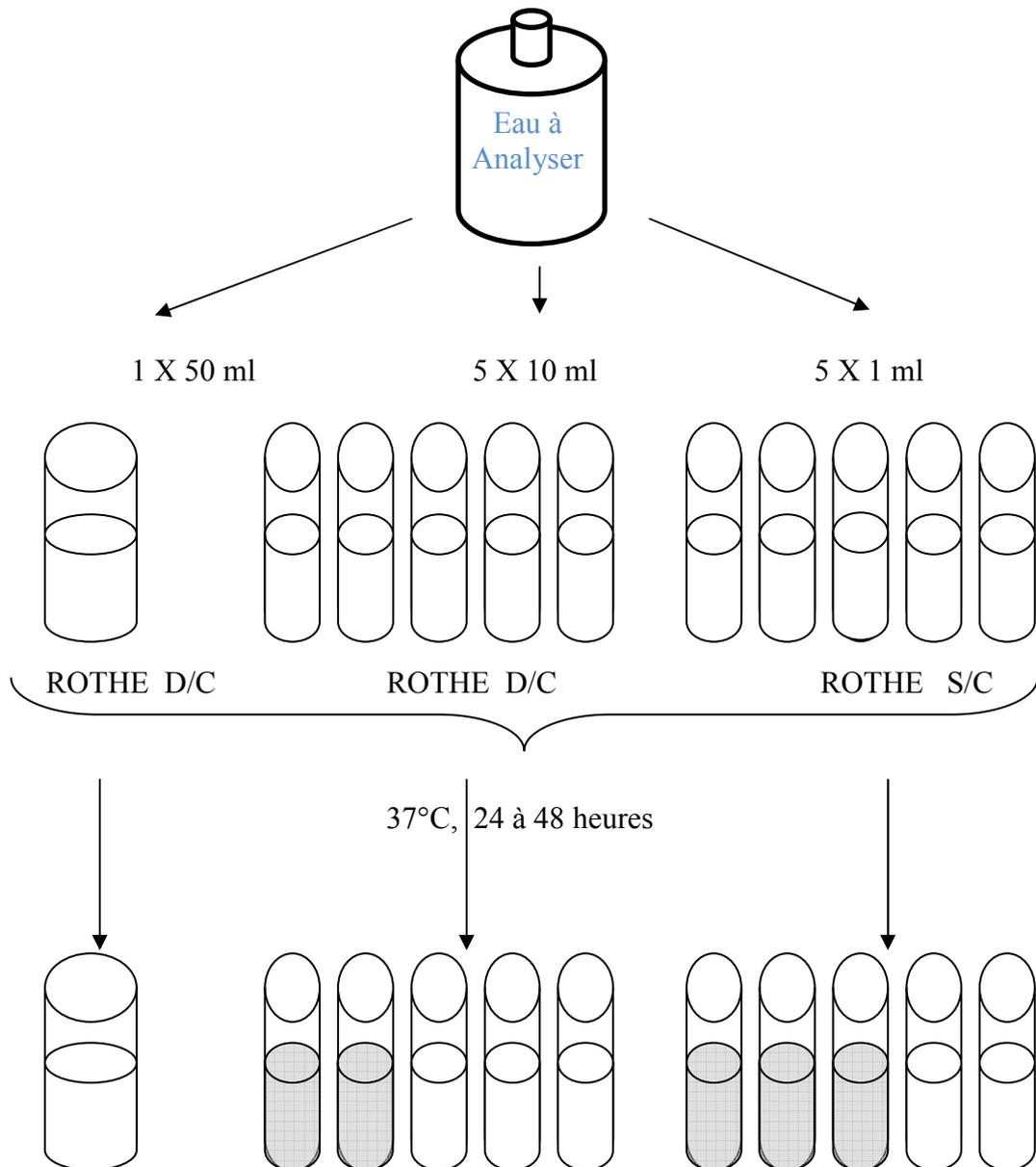
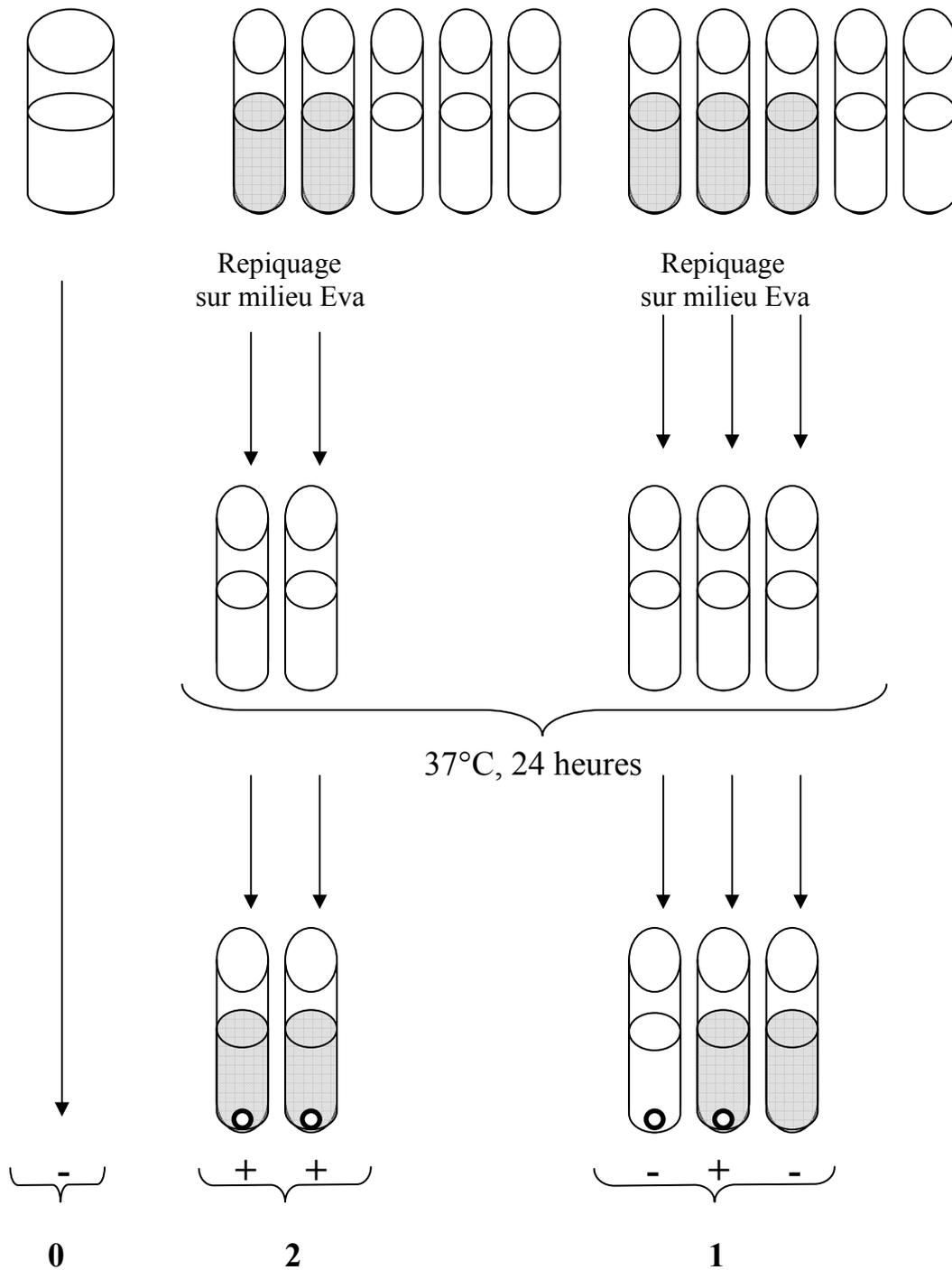


Schéma N°4
Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide :
Test de Confirmation



Tous les appareillages utilisés dans les analyses physico-chimiques et bactériologiques sont cités en **Annexe IV**.

IV.1. Introduction

La détermination de la qualité des eaux de sources a été effectuée en exploitant la base de données recueillie par l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H), dans le cadre du réseau d'observation de la qualité des eaux de sources, mis en place de l'année hydrologique (2003-2004).

Les données physicochimiques des eaux de source obtenues sont présentées dans les tableaux de l'Annexe V [37]. La totalité des données ont été mises à jour (décembre 2003 jusqu'à Aout 2004), ce qui permet de suivre progressivement l'évolution de la qualité des eaux pendant les deux périodes (basses et hautes eaux).

IV.2. Interprétation des résultats analytiques

IV.2.1. Caractères physico-chimiques

IV.2.1.1. Le pH

Les propriétés des eaux naturelles dépendent du pH, ce dernier dépend des concentrations en ions d'hydrogène présent dans l'eau (les ions H^+ présents dans les eaux naturelles sont dues à des causes diverses en particulier à l'ionisation de l'acide carbonique et de sels) [24].

Les valeurs du pH obtenues pour les différentes sources oscillent entre 6.7 et 8.3 (figure VI.1), ces valeurs sont assez proches de la neutralité avec une légère tendance vers la basicité ce qui explique la présence des ions HCO_3^- .

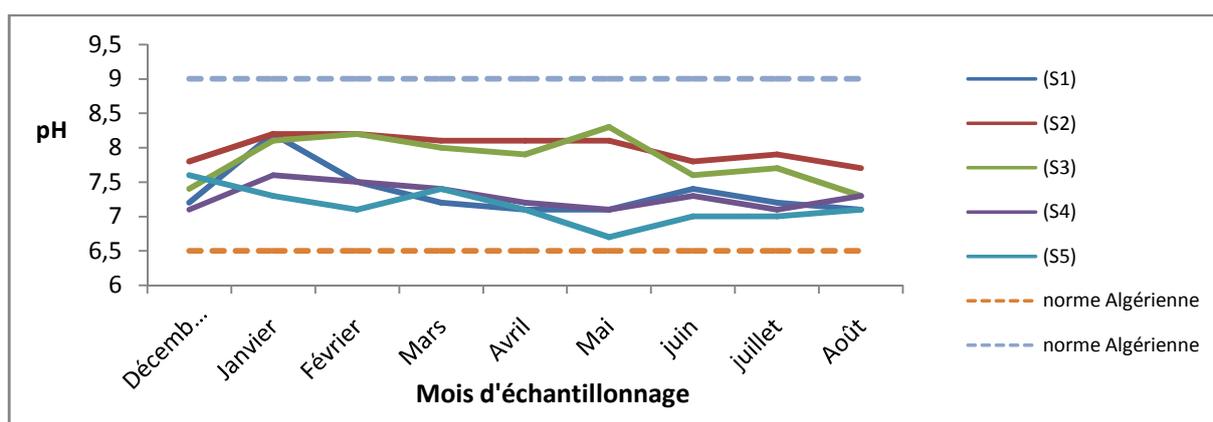


Figure IV.1. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes du pH des eaux de source du mois de Décembre 2003 à Août 2004.

Les normes Algériennes fixent un niveau guide compris entre 6.5 et 9, donc nos eaux sont conformes aux normes [17].

IV .2.1.2. Conductivité électrique et minéralisation

La conductivité électrique est généralement liée à la concentration des ions dissous, elle traduit les fluctuations globales de la charge ionique de l'eau. Elle est en étroite liaison avec la nature lithologique, la vitesse de l'écoulement d'une nappe et le temps de séjours d'une eau. L'augmentation de la conductivité est favorisée par une augmentation de la température [38]. Cependant, il existe une relation entre la minéralisation et la conductivité électrique [24], le tableau IV.1 présente cette relation :

Tableau IV.1. Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité [24].

Conductivité (µS/cm)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50 µS/cm	$1,365\ 079 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 50 et 166 µS/cm	$0,947\ 658 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 166 et 333 µS/cm	$0,769\ 574 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 333 et 833 µS/cm	$0,715\ 920 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 µS/cm	$0,758\ 544 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité supérieure à 10 000 µS/cm	$0,850\ 432 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$

Le Tableau IV.2 donne des indications sur la relation entre la minéralisation d'une eau et sa conductivité.

Tableau IV.2. Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité [24].

conductivité électrique (µS/cm)	Minéralisation
cond < 100	Eau de minéralisation très faible
100 < cond < 200	Eau de minéralisation faible
200 < cond < 333	Eau de minéralisation peu accentuée
333 < cond < 666	Eau de minéralisation moyenne
666 < cond < 1000	Eau de minéralisation importante
cond > 1000	Eau de minéralisation élevée

Les résultats d'analyses de la conductivité et de la minéralisation sont reportés dans les figures IV.2 et IV.3.

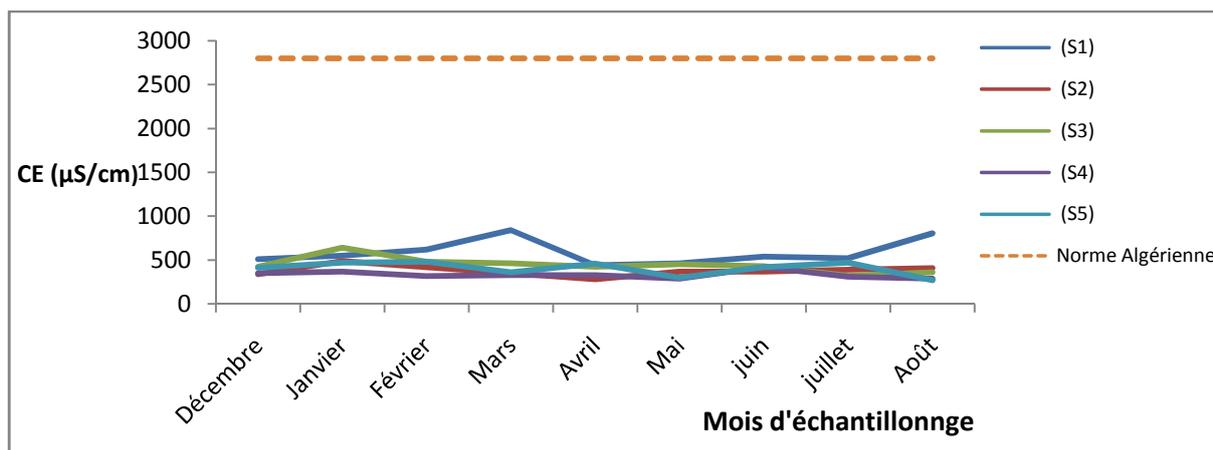


Figure IV.2. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la conductivité électrique des eaux de source du mois de Décembre 2003 à août 2004.

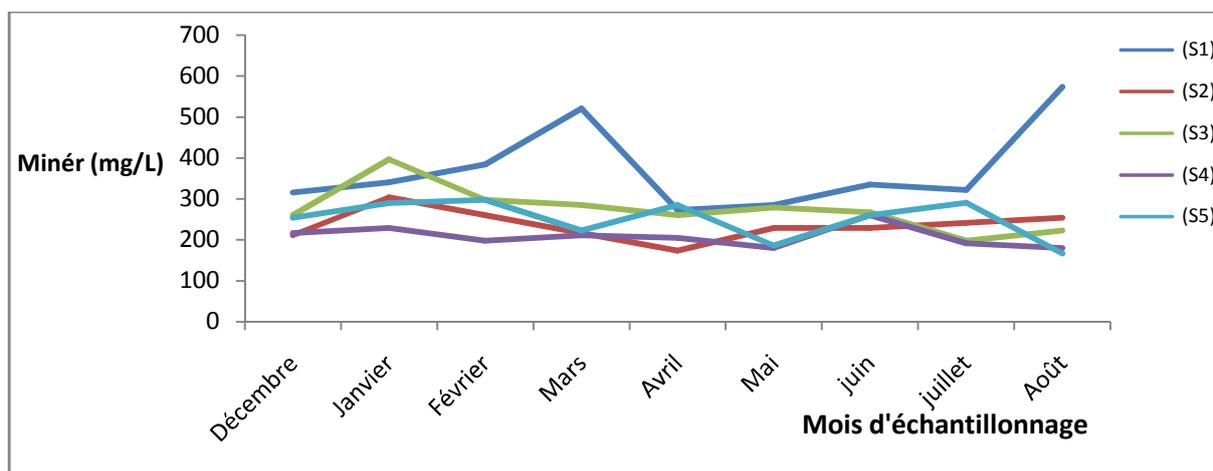


Figure IV.3. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la minéralisation des eaux de source du mois de Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

Pour l'ensemble des sources la valeur de la conductivité est largement en dessous de la norme Algérienne (2800 µS/Cm) [17], elle varie de 300 µS/cm à 640 µS/cm (figure IV.2), ce qui nous amène à classer les eaux de nos sources comme étant moyennement minéralisée (tableau IV.2).

On peut considérer que l'eau de la source S1 comme étant une eau fortement minéralisée (tableau IV.2), leur conductivité atteint des valeurs un peu plus élevés (840 µS/cm).

IV.2.1.3. Dureté

La dureté totale ou titre hydrotimétrique est due essentiellement aux ions du calcium et de magnésium, c'est un indicateur de la minéralisation de l'eau. La pollution peut aussi, dans certaine mesure, augmenter la dureté de l'eau.

L'OMS fait classer l'eau selon la dureté totale, le Tableau IV.3 présente les normes de la dureté de l'eau de boisson fixées par l'OMS.

Tableau IV.3. Norme pour la dureté des eaux de boisson [39].

TH (°F)	TH < 15	15 < TH < 30	30 < TH < 50	TH > 50
Dureté de l'eau	eau douce	moyennement douce ou moyennement dure	eau dure	très dure

Les eaux de source (S2, S3, S4, S5) sont des eaux moyennement douces à moyennement dures puisque les valeurs du TH enregistrées sont comprises entre 15 °F et 30 °F, en particulier la source S1 enregistre des valeurs un peu plus élevée, avec un pic (53°F) au mois d'Aout (figure IV.4).

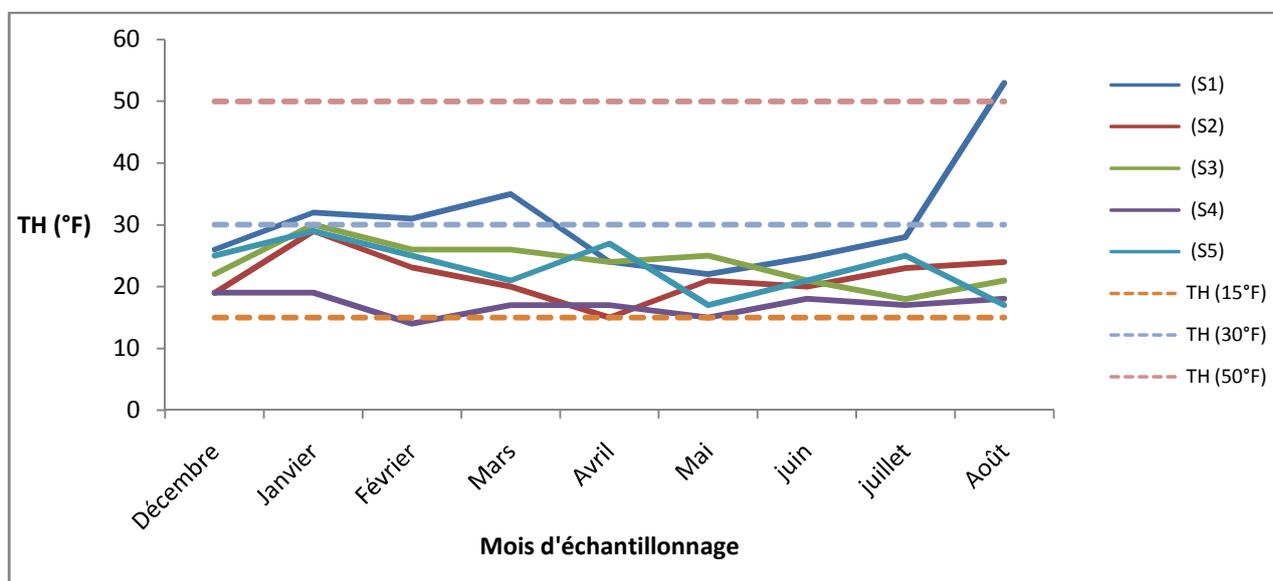


Figure IV.4. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la dureté des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

Ces valeurs de la dureté, peuvent être expliquées par la dissolution du calcium et du magnésium, qui est accrue par la présence dans l'eau de gaz carbonique provenant de l'atmosphère ou de CO₂ magmatique et des couches superficielles [25].

Pour la législation française, il n'existe pas de limites supérieures ni de niveau guide de la dureté totale. Néanmoins le Ministère de la santé qualifie l'idéal un TH compris entre 15°F et 25°F, mais la limite inférieure est fixée à 15°F [25].

IV.2.2. Paramètres de pollution

IV.2.2.1. Ammonium (NH₄⁺)

L'ammonium traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Les eaux profondes peuvent également se charger en ammonium par réduction des nitrites sous l'action des bactéries autotrophes [40].

Toutes les analyses ont révélé l'absence total de l'ammonium dans les cinq eaux de sources, cela laisse supposer une absence de décomposition de la matière organique dans le milieu par les bactéries dites décomposeurs [41].

L'absence de l'ammonium est souhaitable, il présente une réelle toxicité même à des doses faibles, la norme Algérienne fixe une CMA pour cet ion de 0,5 mg/l [17].

IV.2.2.2. Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites peuvent se rencontrer dans les eaux mais généralement à des doses faibles. Ils proviennent d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates par des bactéries dénitrifiantes en milieu réducteur [41].

Tous les résultats ont donné une absence des nitrites dans les eaux de sources analysées comme l'ammonium, l'absence de nitrites est souhaitable, il présente une réelle toxicité.

La législation Algérienne fixe une concentration maximale de (0,2 mg/L) [17].

IV.2.2.3. Matière organique

La matière organique naturelle est responsable de la coloration des eaux de surface, elle est constituée d'un ensemble complexe et hétérogène de structures organique de masses moléculaires et de groupement chimiques différents [42].

On trouve dans les eaux naturelles de nombreuses substances organiques : protéines, acides aminés, substances humiques, molécules de synthèses, etc.

Les matières organiques sont des Substances complexes issues de la dégradation des végétaux, du lessivage des sols, ou contenues dans les rejets multiples et variés d'eaux usées [24].

Dans les eaux destinées à l'alimentation humaine, les matières organiques nuisent à la qualité de l'eau, car elles réagissent avec les désinfectants, notamment le chlore, en donnant des sous-produits indésirables (halométhane, acide chloroacétique, etc.) [42].

La quantité de la matière organique mesurée durant toute l'année hydrologique pour chaque source, varie de 0 à 2 mg/l. Un pic a été enregistré au niveau de la source S5 au mois d'Avril (3.9 mg/L), (figure IV.5).

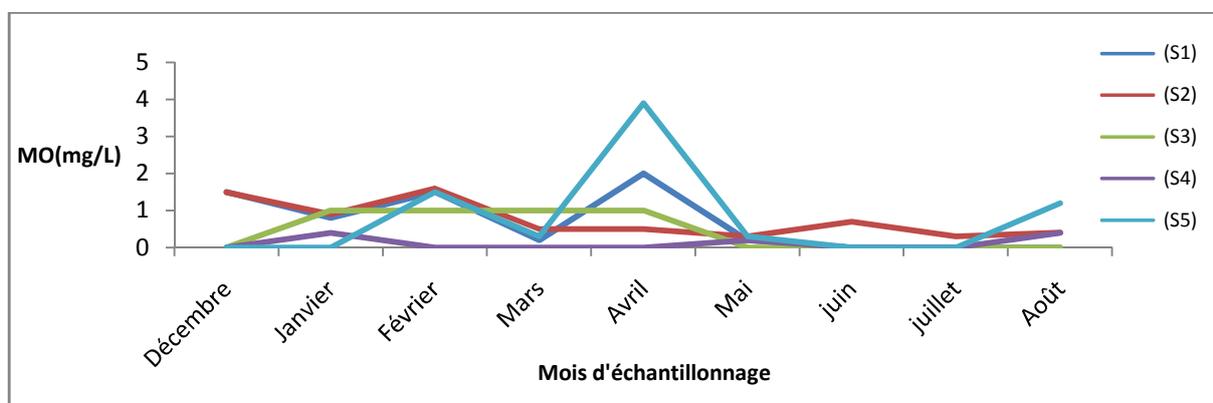


Figure IV.5. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de la matière organique des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

Cette valeur peut être à l'origine du lessivage du sol lors des précipitations, puisque cette source est située dans la zone de Bouaarfa, entourée par des terrains exploités pour l'agriculture.

La communauté Européenne indique comme une valeur guide de 2 mg/L [24].

IV.2.3. Anions

IV.2.3.1. Bicarbonates

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des carbonates de calcium ou de magnésium selon les réactions chimiques suivantes :



Ces réactions nécessitent donc la présence du CO₂ dans l'eau. En effet, le CO₂ provient de l'air et de l'activité intense des bactéries dans le sol [25].

Les concentrations des bicarbonates enregistrées au cours de la période de suivi ne fluctuent pas énormément, Leur évolution spatio-temporelle est presque identique, en particulier la source S3 (Ain El Kaf Errachi) présente une valeur maximale (357 mg/L) au mois de Janvier (figure IV.6).

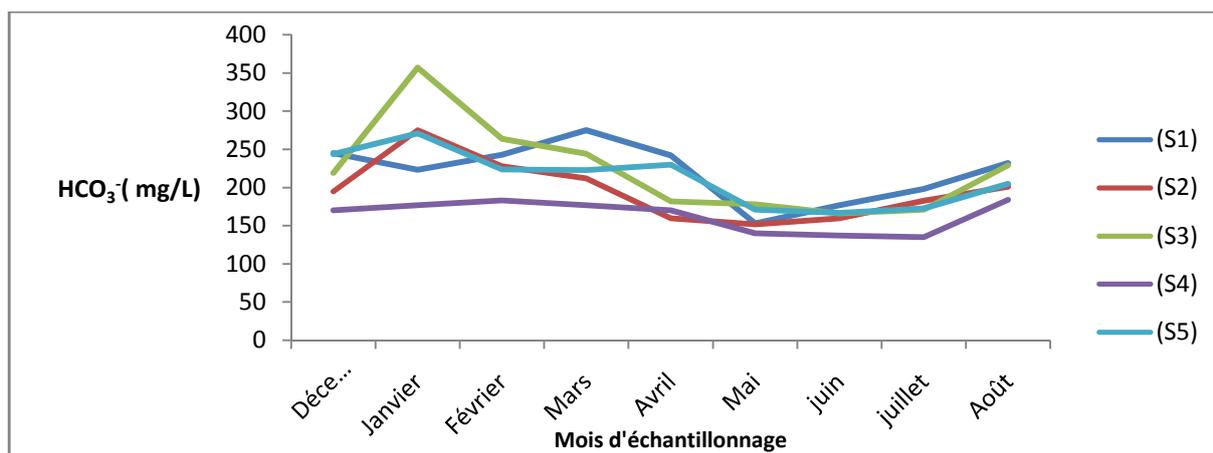


Figure IV.6. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des bicarbonates des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

L'augmentation des concentrations des bicarbonates dans la saison pluvieuse se résulte par le lessivage des sols, alors que la diminution des concentrations en été peut s'expliquer par une perte de gaz carbonique par évaporation et photosynthèse [43].

IV .2.3.2. Nitrates

La présence de nitrates dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines [28].

Pour les sources (S2, S3, S4, S5), les nitrates enregistrent des concentrations assez stables avec des valeurs inférieures à 20 mg/L, par ailleurs l'échantillon de la source S1 (Ain Sbiha), est touché par une teneur excessive en nitrate (81 mg/L) (figure IV.7), cette valeur dépasse largement la norme de potabilité (50 mg/L) [17].

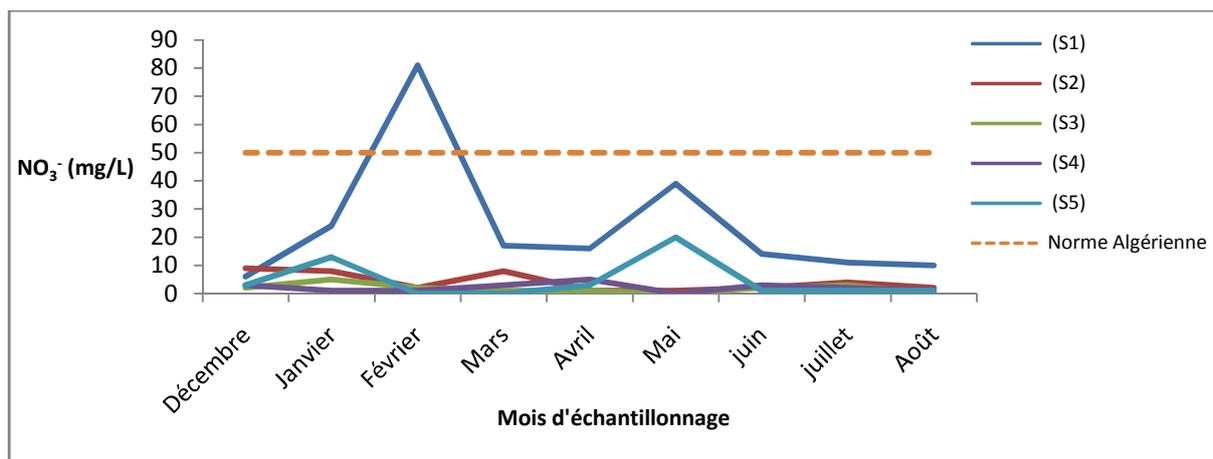


Figure IV.7. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des nitrates des eaux de sources du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

D'après les sorties faites sur le terrain, on a constaté que la source S1 se situe dans une zone rurale qui présente une forte densité des montagnards, ces derniers exploitent les terrains qui les entourent pour leurs besoins agricoles, et ont recours à l'élevage d'où l'augmentation du taux de nitrates dans cette région [28]. La migration des nitrates est nettement plus rapide en hiver [24].

L'excès des nitrates dans les eaux de consommation provoque la méthémoglobinémie chez les nourrissons appelée également la maladie bleue [44].

IV.2.3.3. Sulfates

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable, les valeurs mensuelles enregistrées de l'année (2003-2004) montrent que les eaux de sources sont restées moins chargées en sulfate (valeurs maximale de 110 mg/L pour la S1) avec une moyenne de 50 mg/L (figure IV.8), ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne (400 mg/L) [17].

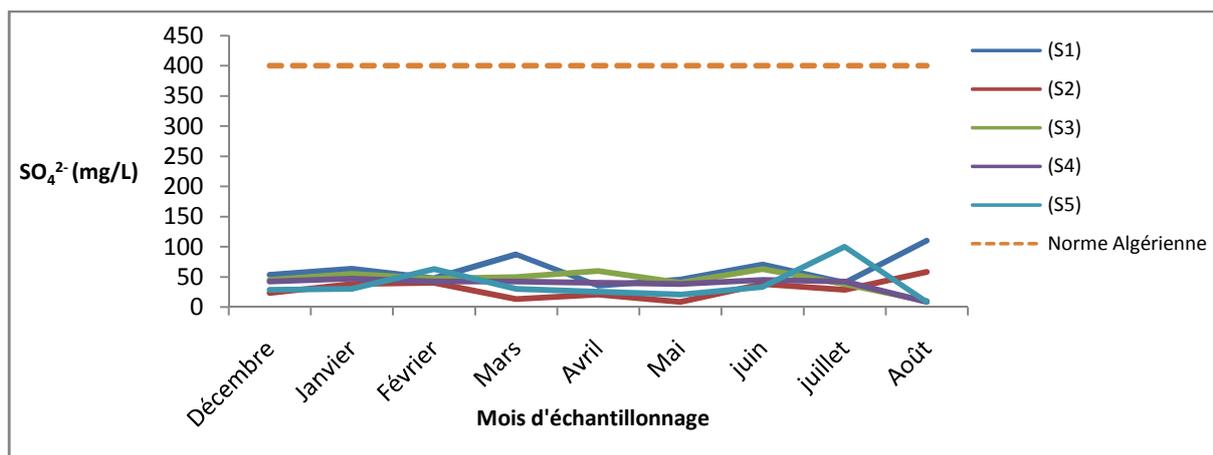


Figure IV.8. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des sulfates des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

IV.2.3.4. Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés [24], les teneurs en chlorures des eaux de sources sont très inférieures à la norme Algérienne (500 mg/L), (figure IV.9).

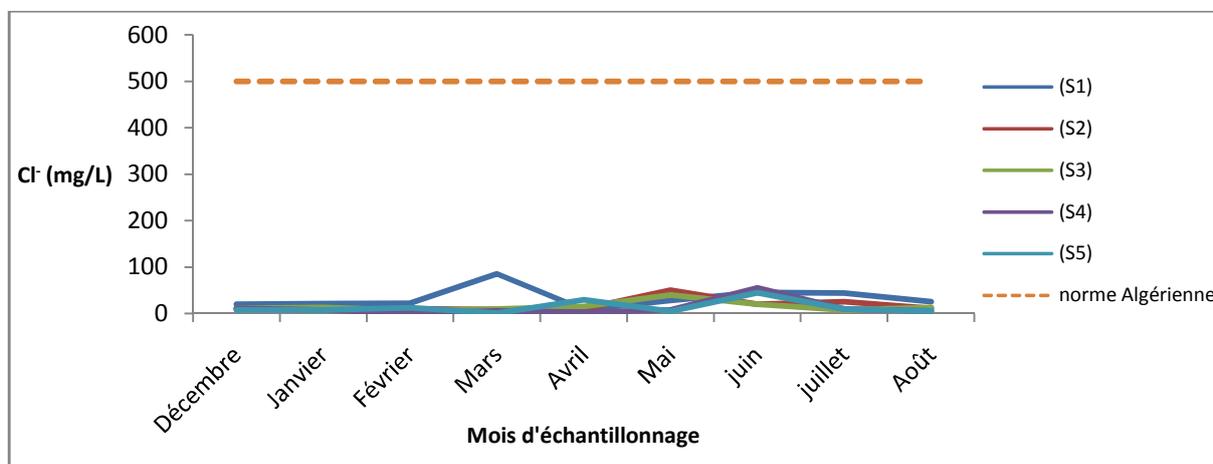


Figure IV.9. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes des chlorures des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

Ces faibles concentrations peuvent provenir également de l'action humaine à partir de l'entretien des routes de Chréa à la période hivernale [24], [25].

IV.2.4. Cations

IV.2.4.1. Calcium

Dans l'eau, le calcium existe surtout à l'état de bicarbonates, et en quantité minimale sous forme de sulfate, chlorure...etc. Les eaux de pluie n'en renferment que des traces [24].

Les eaux de sources (S2, S4, S5) présentent des teneurs relativement faibles en calcium (figure IV.10), pour les deux sources (S1, S3), les petites variations de la teneur en calcium sont dues probablement aux précipitations durant les premiers mois d'analyse (période hivernale), ce qui a provoqué le lessivage du calcium du sol et celui provenant de la dissolution des roches au fond de la nappe.

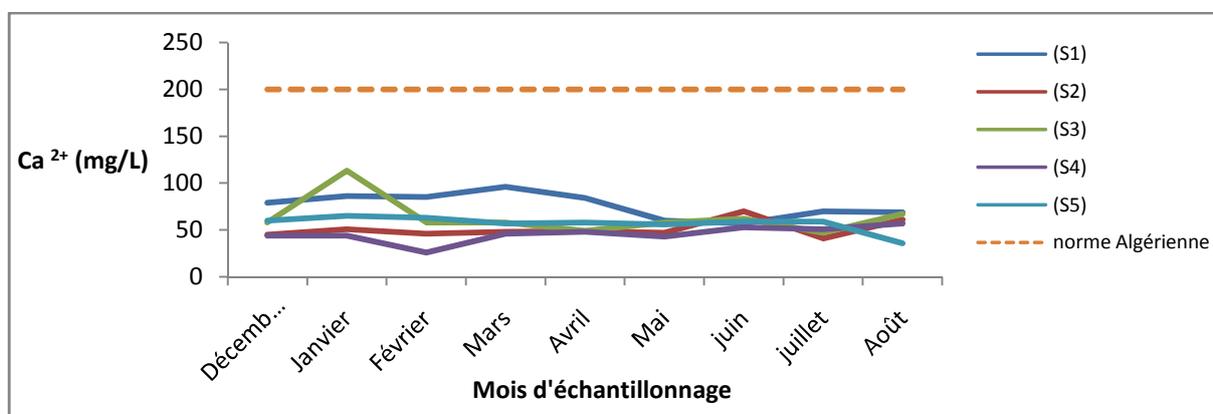


Figure IV.10. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de Calcium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

Les eaux de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/L de calcium [24].

IV.2.4.2. Magnésium

Le magnésium est un élément indispensable de la dureté de l'eau dont la teneur dépend des terrains traversés [24].

Les valeurs du magnésium enregistrées, sont nettement inférieures à celles du calcium. Elles varient entre 5 et 40 mg/l (figure IV.11).

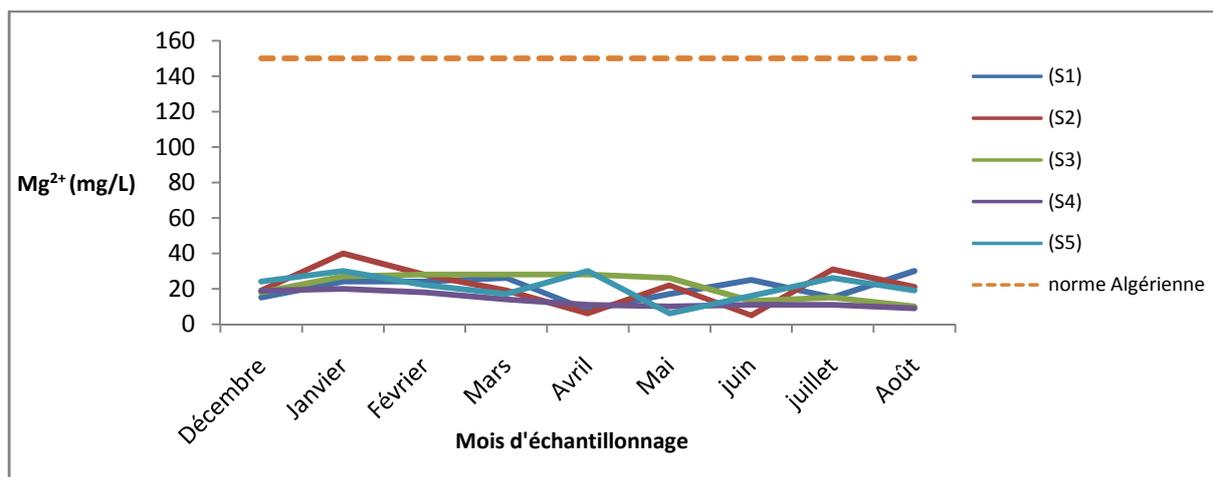


Figure IV.11. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de magnésium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens.

Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent comme teneur du magnésium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 30 mg/L et une concentration maximale admissible de 50 mg/L [24].

IV.2.4.3. sodium

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/L et même au-delà [24].

Du graphe, on constate des teneurs très faibles en sodium pour l'ensemble des sources, en particulier, l'échantillon de la source S1 présente une concentration peu élevée au mois de Mars (60 mg/L) (figure IV.12), mais elle est considérée toujours inférieure à la valeur guide Algérienne (200 mg/L).

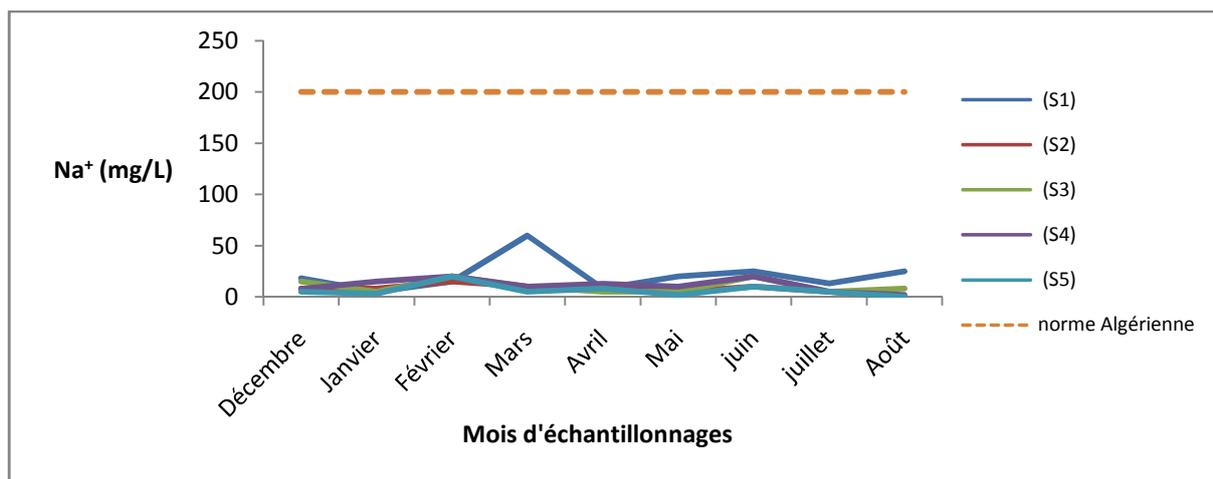


Figure IV.12. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de sodium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

IV.2.4.4. potassium

C'est un élément alcalin, très réactif avec l'eau, on le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais. Il se trouve aussi dans la végétation sous forme de carbonate [24].

Les valeurs du potassium observées sont bien en dessous de la norme de potabilité de 12 mg/l.

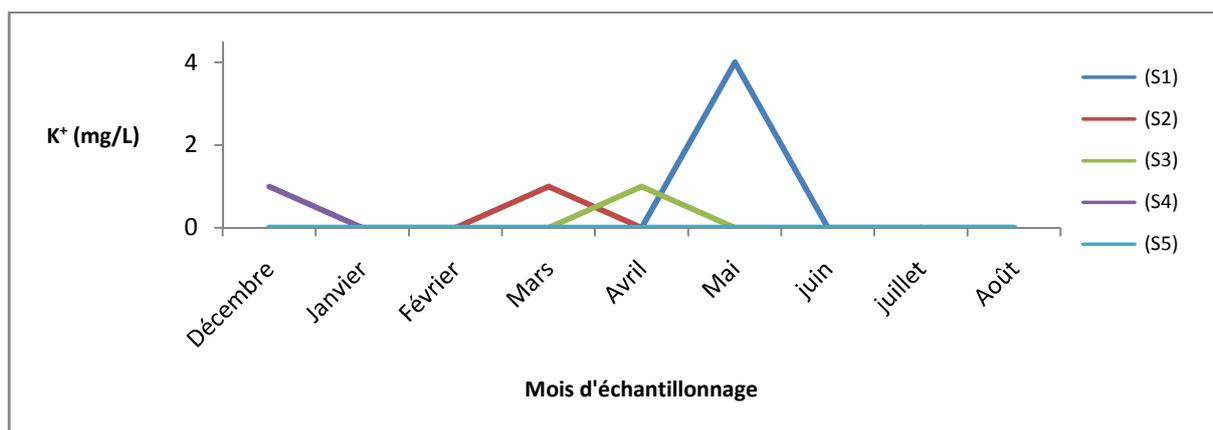


Figure IV.13. Evolution spatio-temporelle des valeurs moyennes de potassium des eaux de source du Décembre 2003 jusqu'à août 2004.

Les anciennes directives du Conseil des communautés européennes indiquaient comme teneur du potassium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 10 mg/L et une concentration maximale admissible de 12 mg/L [24].

IV.2.2. Caractères microbiologiques

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau, elle représente également un bon moyen pour contrôler l'efficacité des mesures de protection ou de traitement, le tableau IV.4 rapporte les analyses microbiologiques des eaux de sources sélectionnées.

Tableau IV.4. Résultats des analyses bactériologiques des eaux des sources du PNC de l'année (2003-2004) [37].

Sources	S1	S2	S3	S4	S5	Normes (Journal officiel, n°18, 23 Mars 2011) Algérie
Germes recherchés						
Coliformes Totaux (n/100ml)	240	240	240	240	240	<10
Coliformes Fécaux (n/100ml)	Abs	240	Abs	Abs	Abs	Abs
Streptocoques fécaux (n/100ml)	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

Les échantillons analysés présentent une qualité bactériologique non satisfaisante, et déclarées donc impropres à la consommation selon l'arrêté du 22/03/2011 [17].

IV.2. Faciès chimiques des eaux

Le faciès chimique des cinq sources a été déterminé à partir de diagramme de Schoeller-Berkaloff (figures IV.14 à 18), il ressort clairement que la dominance du faciès bicarbonaté calcique pour les cinq sources étudiées.

La dominance du faciès **Bicarbonaté-calcique** dans les eaux des sources du Parc National de Chréa confirme la nature essentiellement carbonatée des formations de la région.

Figure IV.14. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ain Sbiha sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).

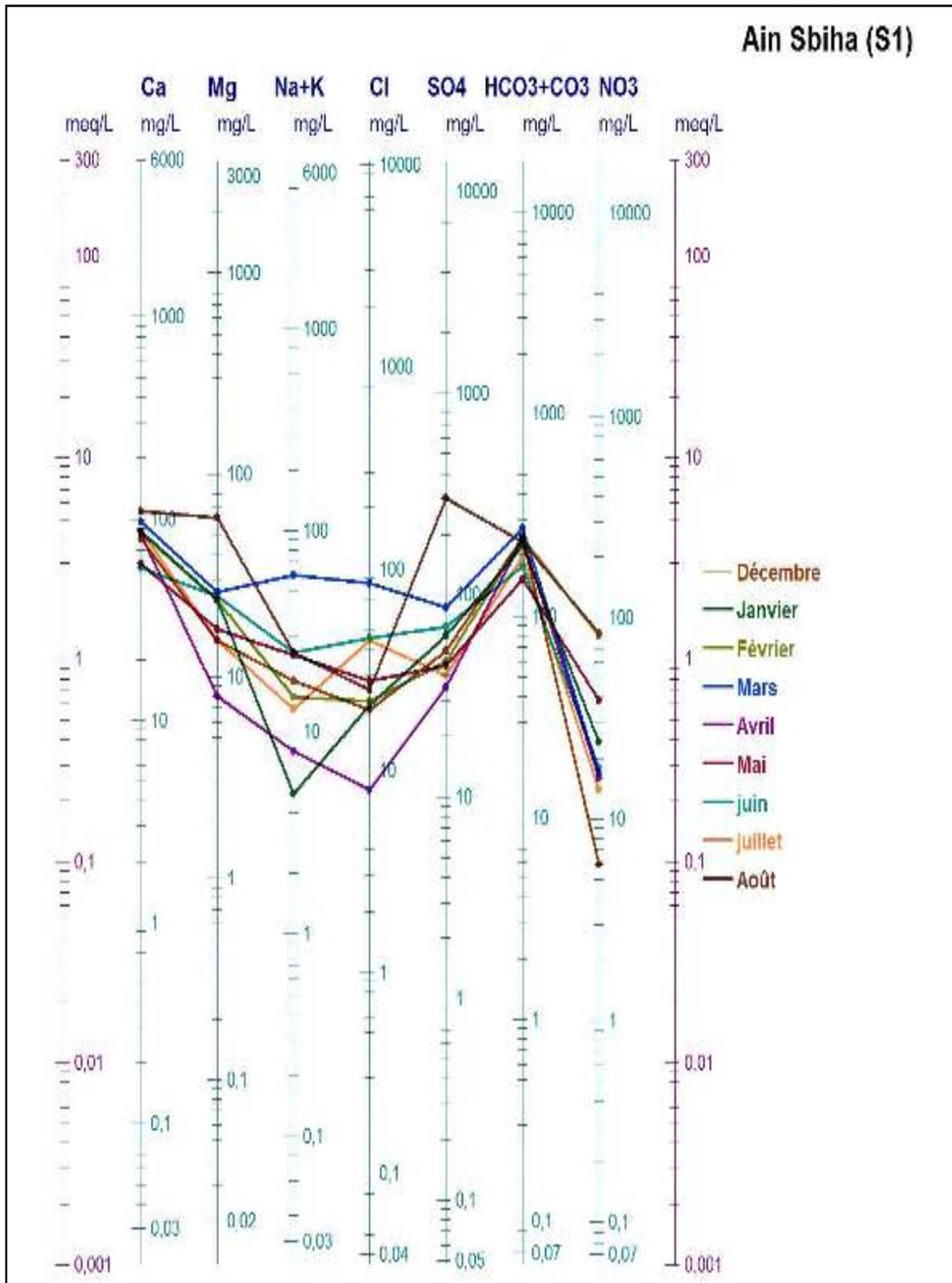


Figure IV.15. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ruisseau des singes sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).

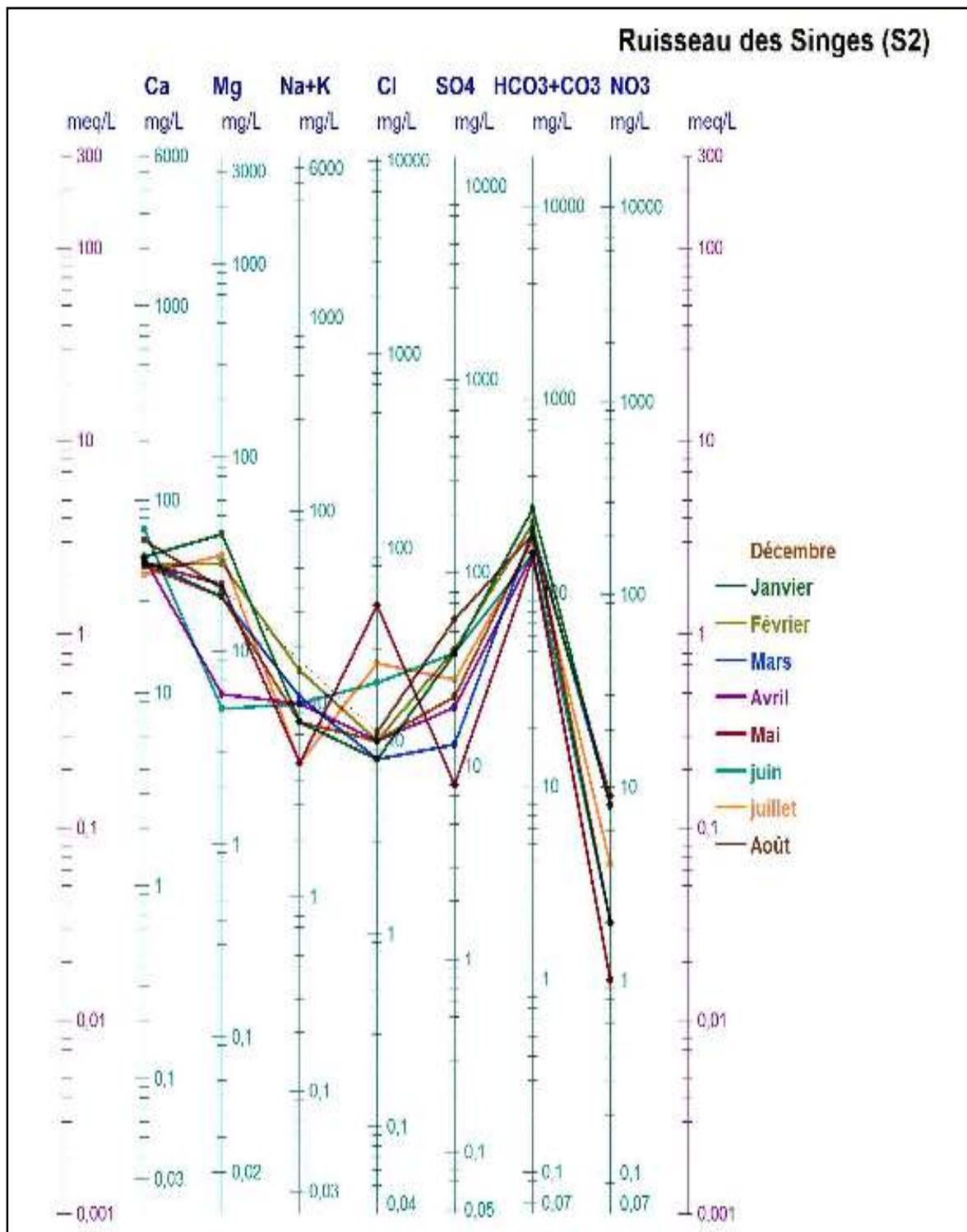


Figure IV.16. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ain El Kaf Errachi sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).

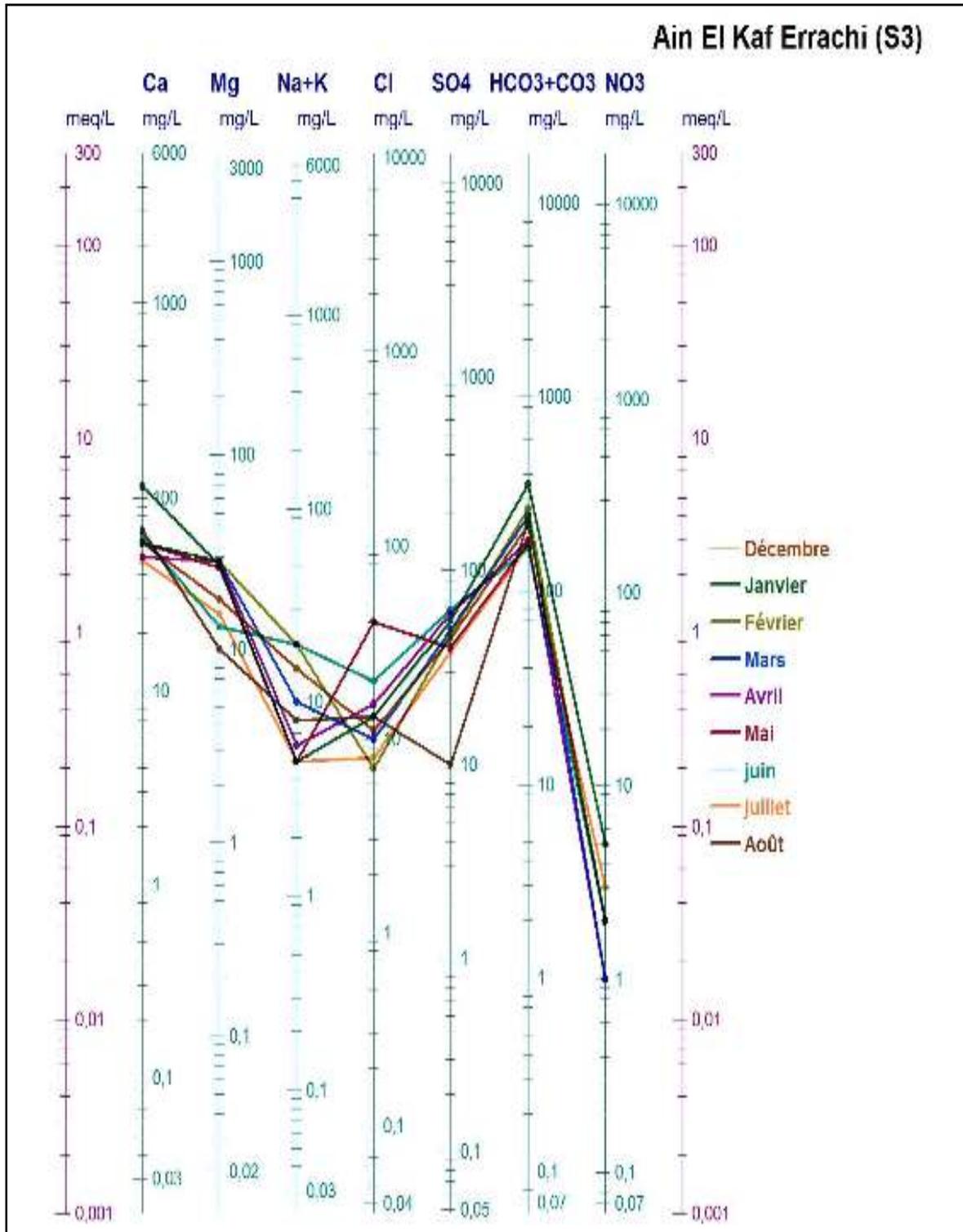


Figure IV.17. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Ain Djaghdjough sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).

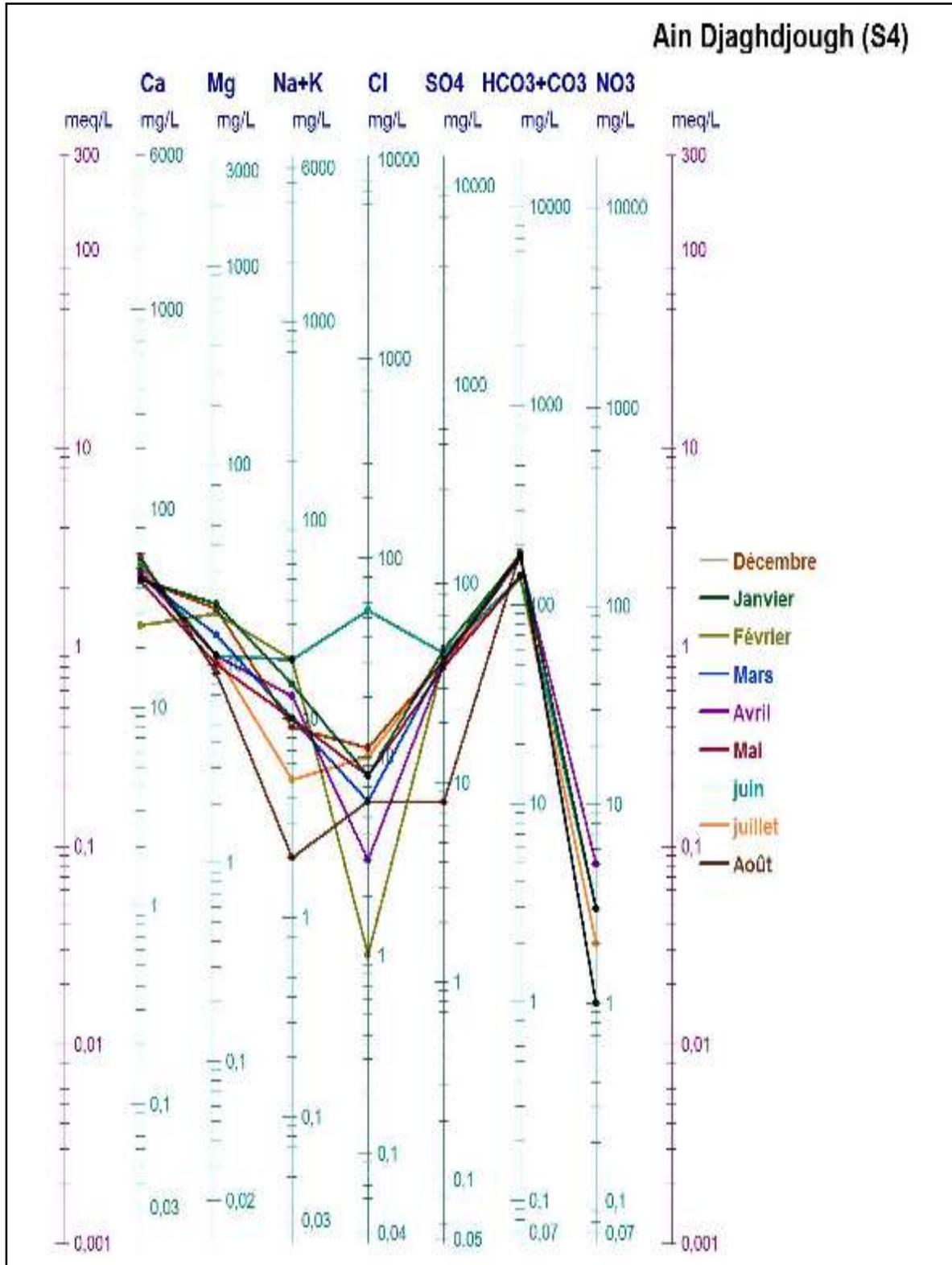
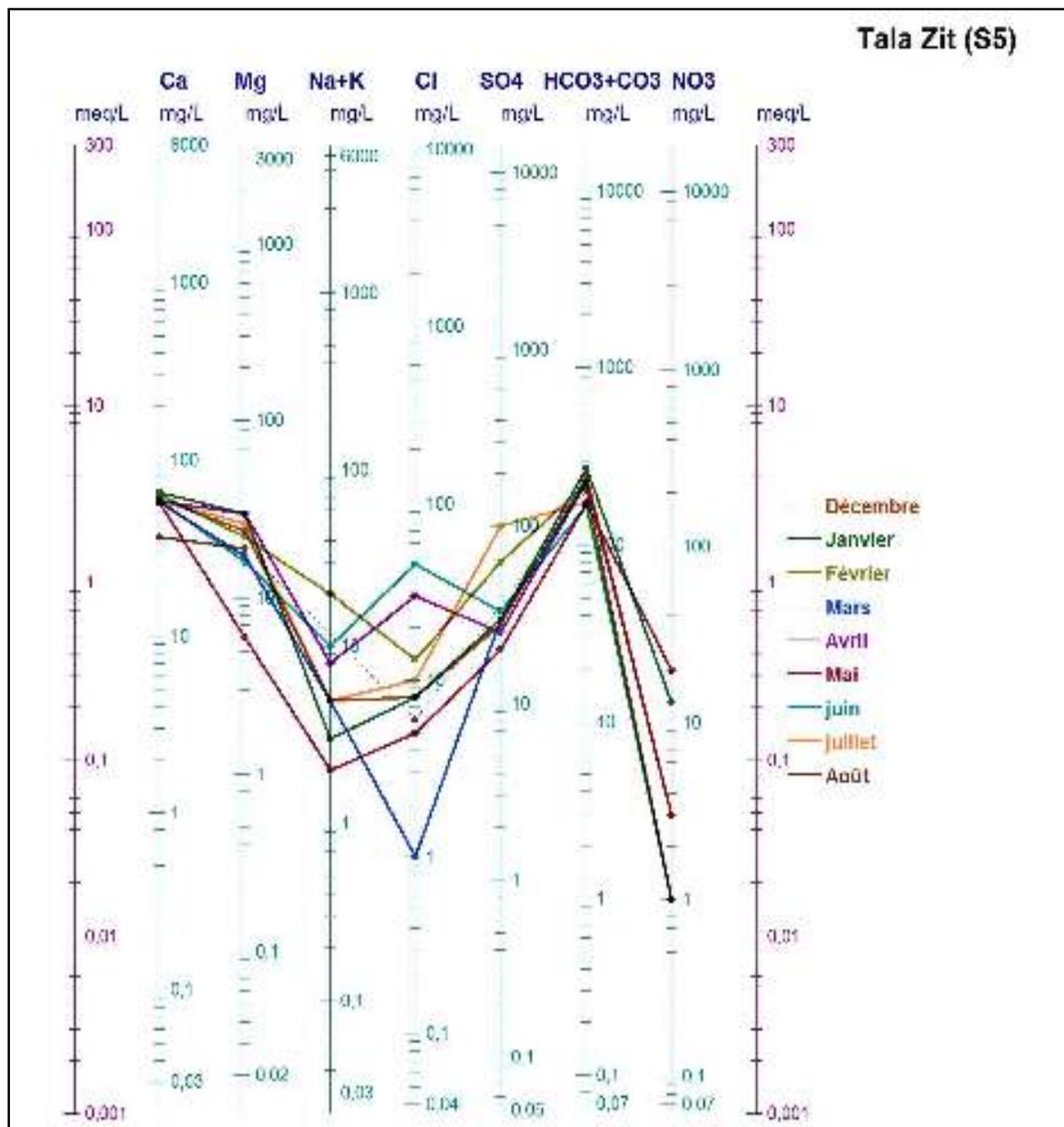


Figure IV.18. Représentation graphique des analyses d'eau de la source Tala Zit sur le diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF, (2003-2004).



IV.4. Conclusion

Les cinq sources étudiées, durant la campagne 2003-2004, ont une composition physico-chimique très équilibrée (minéralisation moyenne, dureté moyenne, etc....).

Le faciès de ces eaux est à dominance bicarbonaté-calcique.

La qualité microbiologique des eaux de sources ne répond pas aux normes de potabilité. Néanmoins, ces eaux peuvent être consommées moyennant un traitement de désinfection par le chlore.

V.1. Analyses physico-chimiques des eaux des sources (campagne 2011)

Au cours de la phase de suivi des sources (Avril et Mai 2011), des prélèvements pour les analyses physico-chimiques ont été réalisés au niveau des cinq sources étudiées.

Les analyses physico-chimiques complètes ont été réalisées au niveau du laboratoire d'analyses des eaux de l'A.N.R.H et sont mentionnés dans le Tableau V.1.

Tableau V.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de sources du PNC (Campagne 2011).

Sources	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ²⁻ mg/l	OH ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	CE µS/cm	R.S. mg/l	S. Ions	pH	TH	TAC	SiO ₂ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	M.O mg/l	PO ₄ ²⁻ mg/l
S1	82	17	2	1	37	23	241	0	0	9.6	518	306	412.6	7.3	28	20	21.4	0	0.2	0	0
S2	49	24	1	1	23	25	214	0	0	1.2	460	323	338.2	8.0	22	18	17.8	0	0.2	2.5	0
S3	51	28	1	1	20	25	223	0	0	0.7	432	250	349.7	8.0	24	18	16.5	0	0.7	0.9	0
S4	57	15	2	0	18	24	210	0	0	1.7	418	210	303.7	7.5	20	17	16	0	0	0.9	0
S5	53	10	2	0	17	23	183	0	0	5.0	371	196	270	7.0	17	15	17.6	0	0	0.2	0

Globalement, la composition physico-chimique des eaux des cinq sources n'a pas subi de grandes modifications par rapport à la campagne (2003-2004).

La source S1 présente la plus forte concentration en nitrate (9.6 mg/L), cette concentration est plus faible par rapport aux valeurs de l'année (2003-2004). La source S2 présente plus de matière organique (2.5 mg/L), qui est probablement la matière organique naturelle générée au sein même du milieu par le processus de biodégradation des végétaux et les détritux animaux [45], [46].

La source S3 contient très peu de nitrates (0.7 mg/L) mais une remontée de la concentration de l'ammonium (0.7 mg/L).

V.2. Analyses bactériologiques des eaux de sources

Pour contrôler la potabilité des eaux des sources du point de vue bactériologique, des prélèvements ont été réalisés durant la durée de notre étude.

Les analyses bactériologiques ont été faites par le laboratoire Algérienne des Eaux de Chiffa.

Les résultats d'analyses bactériologiques obtenus sont consignés dans le tableau V.2 :

Tableau V.2. Résultats des analyses bactériologiques des eaux des sources
(Campagne 2011).

Sources	S1	S2	S3	S4	S5	Normes (Journal officiel, n°18, 23 Mars 2011) Algérie
Germes recherchés						
Coliformes Totaux (n/100ml)	130	Abs	Abs	Abs	Abs	<10
Coliformes Fécaux (n/100ml)	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Streptocoques fécaux (n/100ml)	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

Les résultats d'analyses obtenues, montrent que les eaux des quatre sources (S2, S3, S4, S5) sont de bonne qualité microbiologique. La source S1 présente une qualité bactériologique non satisfaisante, celle-ci est due essentiellement aux activités humaines présentes dans cette région.

Par rapport à la campagne (2003-2004), on observe une amélioration de la qualité microbiologique des eaux, quatre sources sont bonnes à la consommation sans aucun traitement. Ce résultat est dû d'une part aux fortes précipitations (phénomène de dilution) qu'a connu le Parc National de Chréa ces dernières années, aussi qu'aux mesures de protection des ressources prises par les responsables du Parc National de Chréa tels que :

- Interdiction de toute utilisation des produits phytosanitaires (pesticides, herbicides, fongicides.....etc) pour le traitement de la flore.
- Surveillance et lutte contre les incendies de forêts et ce pendant la saison estivale.

- Campagnes de sensibilisation pour les visiteurs quant au lavage des véhicules dans les points d'eau naturels, ce qui affecte considérablement la qualité des eaux.
- Sensibilisation au moyen de plaques signalétiques contre la pollution, par des déchets domestiques (facteurs anthropiques), des aires naturelles protégées, ce qui affecte inéluctablement la qualité de l'eau.

V.3. Faciès chimiques des eaux (campagne 2011)

La représentation des données d'analyse des eaux de sources (campagne 2011) sur le diagramme de Piper indique que toutes les sources sont du type bicarbonaté calcique (Figure. V.1).

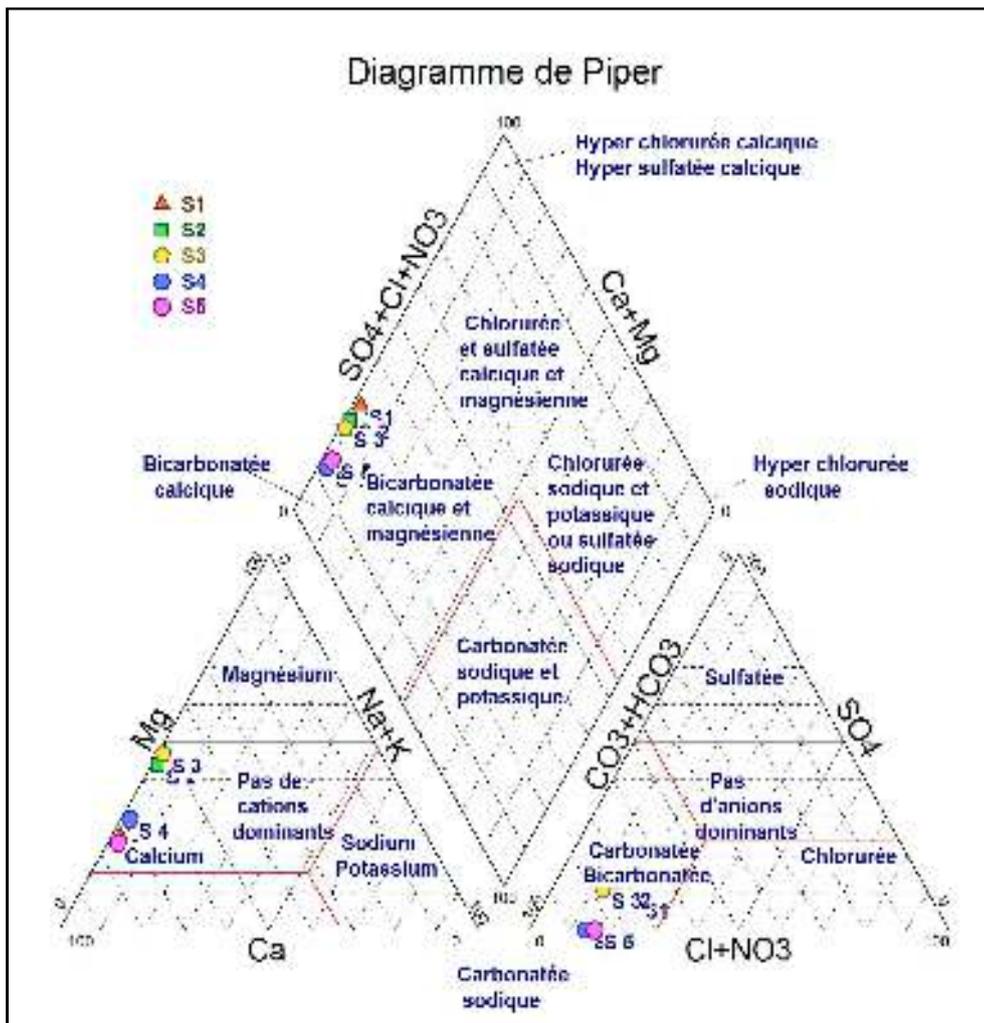


Figure V.1. Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources du PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2011.

Le diagramme de H. SCHOELLER BERKALOFF montre une seule famille d'eau, Bicarbonatée Calcique (tableau V.3, Figure V.2).

Tableau V.3. Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF.

les sources	Formules caractéristiques	Faciès chimiques
S1	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$ $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ + K^+$	Bicarbonatée Calcique
S2	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ + K^+$	Bicarbonatée Calcique
S3	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ + K^+$	Bicarbonatée Calcique
S4	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ + K^+$	Bicarbonatée Calcique
S5	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ + K^+$	Bicarbonatée Calcique

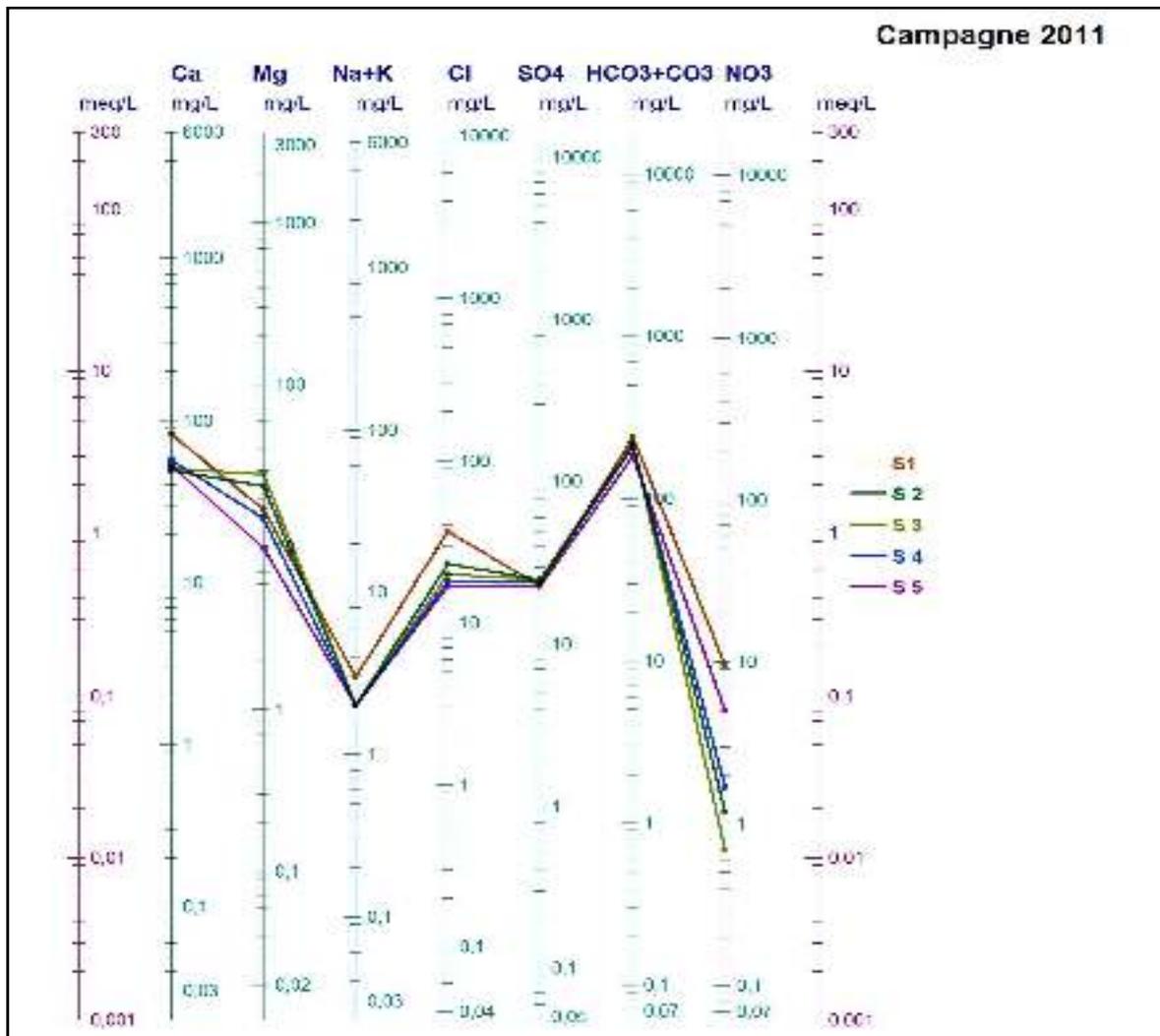


Figure V.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources du PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2011.

Selon ces deux diagrammes (PIPER et SCHOELLER BAKALOFF) on peut dire que les eaux de sources étudiées sont marquées par les Bicarbonates qui s'accompagnent de calcium.

La dominance du faciès Bicarbonaté-calcique dans les eaux des sources du parc national de Chréa confirme la nature essentiellement carbonatée des formations de la région.

V.4. Interprétation des résultats de la période des hautes eaux pour l'année 2011 et l'année (2003-2004)

Les résultats de la campagne 2011 ont été comparés par rapport aux résultats de la campagne (2003-2004).

On remarque sur le diagramme de Piper (figure V.3), que les eaux ont gardé le même faciès chimiques à savoir bicarbonaté-calcique, on note une très légère translation dans la composition des eaux des cinq sources analysée (campagne 2011) par rapport aux résultats d'analyse obtenues en (2003-2004).

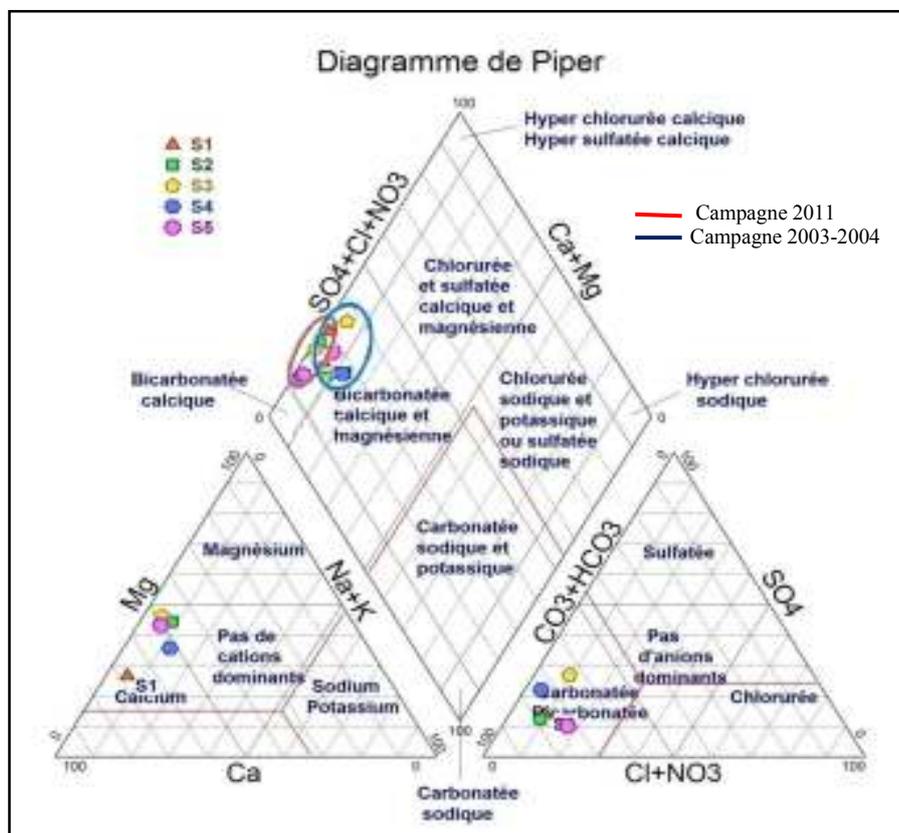


Figure V.3. Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources du PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2011 et de l'année (2003-2004).

V.5. Classification des eaux de sources

Les eaux de sources étudiées ont été classées suivant leur minéralisation, la composition ionique ainsi que la dureté.

1- Classification des eaux de sources en fonction de la minéralisation

Cette classification est basée sur la concentration en taux de solide dissouts (TDS) qui correspond à la valeur du résidu sec (Tableau. V.4) [18].

Tableau V.4 : Classification des eaux de sources en fonction de la minéralisation [18].

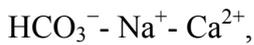
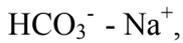
Classes d'eau	Les sources	%
Eaux faiblement minéralisées Résidu sec ≤ 50 mg/l	-	-
Eaux oligo-minérales 50 mg/l < Résidu sec ≤ 500 mg/l	S4, S5, S1, S2, S3,	100
Eaux modérément minéralisées 500mg/l < Résidu sec ≤ 1500 mg/l	-	-
Eaux riches en sels minéraux. Résidu sec > 1500 mg/l	-	-

Par ailleurs une nouvelle classification a été faite par **Carla Lourenço [47]**, nous a permis de bien connaître les ions prédominants selon la minéralisation des eaux (tableau V.5).

Tableau V.5. Les caractéristiques hydrochimiques des eaux en fonction de la minéralisation [47].

Type hydrochimique	principales caractéristiques	sources
Eau de minéralisation très faible	minéralisation < 100 mg/L, la teneur en silice > 25% de la minéralisation totale	
eau de minéralisation faible	Minéralisation totale entre 100 et 1000 mg / L. Présence d'une paire ionique dominante: $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$	S1, S2, S3, S4, S5.
Eau de minéralisation moyenne	Minéralisation totale entre 1000 et 1500 mg / L. Présence d'une paire ionique dominante: $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$	
Eau de minéralisation élevée	Minéralisation totale > 1500 mg/L. Présence d'une paire ionique dominante : $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ La teneur en fluor 1 mg / L; le montant élevé de CO_2	

La minéralisation des eaux est principalement contrôlée par l'équilibre de l'eau « roche-interaction », et par conséquent, dépend de la nature des minéraux présents, les eaux de sources analysées sont des eaux oligo-minérales (tableau V.2), elles se caractérisent par une prédominance des ions suivants :



2- Classification des eaux de sources en fonction de la composition ionique

Cette classification tient compte de la teneur des constituants ioniques (calcium [Ca^{2+}], magnésium [Mg^{2+}], chlorures [Cl^-], sulfates [SO_4^{2-}]. . .) (tableau V.6) [18].

Tableau V.6. Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la composition ionique [18].

Catégories d'eau	Sources	%
Eaux calciques : Teneur en calcium > 150 mg/l		
Eaux sulfatées : Teneur en sulfates > 200 mg/l		
Eaux magnésiennes : Teneur en magnésium > 50 mg/l	-	-
Eaux bicarbonatées : Teneur en bicarbonate > 600 mg/l	-	-
Eaux pauvres en sodium : Teneur en sodium < 20 mg/l	S1, S2, S3, S4, S5	100
Eaux chlorurées : Teneur en chloruré > 200 mg/l	-	-

On trouve ainsi que toutes les eaux de sources étudiées (100 %) sont des eaux pauvres en sodium.

3- Classification des eaux de sources en fonction de la dureté

Tableau V.7. Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la dureté [39].

types d'eau	Les sources	%
Eaux douces TH < 15°F	-	-
Eaux moyennement douces à moyennement dures 15 < TH < 30	S4, S5, S1, S2, S3,	100
Eaux dures 30 < TH < 50	-	-
Eaux très dures TH > 50°F	-	-

A partir de ce tableau on peut ressortir que les eaux de sources étudiées sont des eaux **Moyennement douces à moyennement dures**.

Conclusion

Les eaux de sources sont faiblement minéralisées (eaux oligo-minérales).

Vue la faible composition chimique, les eaux de sources n'ont pas une composition chimique marquée. On note néanmoins que ces eaux sont pauvres en sodium.

Enfin, la classification des eaux par rapport à la dureté a montré que l'ensemble des sources sont moyennement douces à moyennement dures.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude que nous avons menée dans le cadre de la protection et de la valorisation des eaux de sources du Parc National de Chréa a permis de mettre en évidence la bonne qualité physico-chimique des eaux étudiées.

En effet, l'exploitation des résultats de la campagne d'analyse obtenus par l'ANRH durant l'année (2003-2004) a permis de mettre en évidence une composition physico-chimique très équilibrée. Ces eaux de sources répondent aux normes de potabilité avec une faible minéralisation (300 mg/L en moyenne), une dureté totale de 20 à 30 °F classant ces eaux moyennement douces à moyennement dures.

Les composés Azotés trouvés sont égales à zéro pour les nitrites (NO_2^-) et l'azote ammoniacal (NH_4^+). Les nitrates (NO_3^-) sont souvent très inférieurs à 50 mg/L pour l'ensemble des sources. La source de Ain Sbiha (S1), présente une teneur excessive en nitrates (81 mg/L), cette valeur est due essentiellement aux activités agricoles et aux élevages au voisinage de la source.

Les ions essentiels (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- et Cl^-) sont présents dans l'ensemble des sources, on peut conclure sur une bonne qualité physico-chimique des eaux de sources.

La qualité microbiologique des eaux de sources lors de la campagne (2003-2004) ne répond pas aux normes de potabilité. Néanmoins, ces eaux peuvent être consommées moyennant un traitement de désinfection par le chlore.

Le faciès chimique des cinq sources a été déterminé à partir de diagramme de Schoeller-Berkaloff ainsi que sur le diagramme de Piper, il ressort clairement que la dominance du faciès bicarbonaté calcique pour les cinq sources étudiées.

La campagne d'analyse effectuée cette année a montré que la composition physico-chimique des eaux des cinq sources n'a pas subi de grandes modifications et que les eaux ont gardé le même faciès chimique à savoir bicarbonaté-calcique.

Par rapport à la campagne (2003-2004), on observe une amélioration de la qualité microbiologique des eaux, quatre sources sont bonnes à la consommation sans aucun traitement. Ce résultat est dû aux fortes précipitations (phénomène de dilution) qu'a connu le Parc National de Chréa ces dernières années, ainsi que les mesures de protection prises par les responsables du PNC.

Parmi les cinq sources étudiées, la source S1 qui présente le plus faible débit (0.64 l/s), est celle qui est la plus vulnérable, du essentiellement aux activités humaines et aux élevages.

La source de Ruisseau des singes (S2), se caractérise par un débit d'eau très important (5000 m³/J), qui peut être utilisé pour l'alimentation en eau potable dans les périodes de pénurie d'eau.

En perspectives, il sera intéressant de faire une étude hydrogéologie complète sur tous le massif Blidéen, qui englobera une étude isotopique de l'eau afin de déterminer le volume de ces réserves, le sens d'écoulement, l'âge des eaux, le suivi du chimisme des eaux.

Annexe I

Calcul de la balance ionique « Logiciel Hydrowin »

La concentration en méq/L qui figure dans les tableaux (A.1 et A.2) est calculée de la manière suivante :

$$C_{\text{méq}} = \frac{C(\text{mg/l})}{ME} \quad (\text{A.I.1})$$

$$ME = \frac{M}{Z} \quad (\text{A.I.2})$$

Où :

C (méq/l) : concentration en milliéquivalent/l

C (mg/l) : concentration en mg/l

ME : masse équivalente = masse molaire / valence.

Exemple de calcul : (cas de la source d'Ain Sbiha)

Tableau A.1 : Cations de la source « Ain Sbiha »

Cations	mg/l	méq/l
Ca ²⁺	82	4.0918
Mg ²⁺	17	1.3984
Na ⁺	2	0.0870
K ⁺	1	0.0255

Tableau A.2 : Anions de la source « Ain Sbiha »

Anions	mg/l	méq/l
Cl ⁻	37	1.0436
SO ₄ ²⁻	23	0.4808
HCO ₃ ⁻	241	3.9695
NO ₃ ⁻	9.6	0.1555

$\Sigma \text{cations} = 5.6027 \text{ méq/L}$

$\Sigma \text{anions} = 6.6494 \text{ méq/L}$

$$E = \left| \frac{(\Sigma \text{cations} - \Sigma \text{anions})}{\Sigma \text{cations} + \Sigma \text{anions}} \times 100 \right|$$

E = 0.41 %

$E < 5 \%$ donc l'analyse est considérée **acceptable**

Annexe II

«Modes opératoires»

A.II.1. Paramètres physico-chimiques

A.II.1.1. Les résidus secs

Mode opératoire

- Évaporer progressivement au bain-marie dans une capsule tarée 500 ml d'eau filtrée, la capsule n'étant remplie qu'à mi-hauteur.
- Laver la fiole qui a servi à mesurer le volume d'eau avec de l'eau distillée. Les eaux de lavage seront ajoutées en cours d'évaporation.
- Une fois toute l'eau évaporée, porter la capsule à l'étuve à 105 °C pendant 4 heures et laisser refroidir 1/4 d'heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement, le résidu étant en général hygroscopique. Cet inconvénient sera évité en prenant la précaution de déposer 1 ou 2 dg de fluorure de sodium au fond de la capsule avant d'en déterminer la tare.

Expression des résultats

La masse du résidu sec multipliée par 2 donne la masse du résidu sec de 1 litre d'eau.

A.II.1.2. Dosage des cations

A.II.1.2.1. Le calcium et Magnésium

Dosage du calcium et magnésium par complexométrie

Mode opératoire

- Introduire 50 ml de l'échantillon à analyser dans une fiole, et ajouter 4 ml de la solution tampon et 3 gouttes de l'indicateur au noir érichrome ;
- Doser à l'aide de la solution d'EDTA en agitant constamment ;
- Ajouter, goutte la solution d'EDTA dès que la couleur de la solution commence à virer du rouge et du violet au bleu.

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+}) exprimée en milli moles par litre, est donnée par la formule :

$$1000 * (C * V_1) / V_2$$

Ou :

C : C'est la concentration, exprimée en moles par litre, de la solution d'EDTA.

V_1 : est le volume, en millilitre de solution d'EDTA utilisée par le titrage.

V_2 : est le volume, en millilitre d'échantillon dosé ($V_2=50\text{ml}$).

Remarque

La dureté totale, exprimée en CaCO_3 (mg/l), est égal à :

$$(V_1 + V_2) / 50 * 1000$$

A.II.1.2.2. Le Sodium et le Potassium

Méthode photométrique de flamme

Mode opératoire

1- Préparation des solutions d'étalonnage :

- Solution fille de sodium (Na^+) à 10 mg/l de la solution mère de NaCl à 1000 mg/l d'eau distillée.
- Solution fille de potassium (K^+) à 10 mg/l = 1 ml de la solution mère de KCl à 1 g/l dans 100 ml d'eau distillée.

On obtient des solutions étalons contenant respectivement:

500, 400, 300, 150, 100, 50 et 20mg/l de Na^+ .

100, 80, 60, 40, 30, 20, 10 et 4mg/l de K^+ .

2- Méthode de dosage directe :

Avant d'effectuer les mesures, effectuer les réglages de l'appareil, tracer une courbe d'étalonnage, puis effectuer la mesure sur la prise d'essai de l'échantillon.

Expression des résultats

Déduire de la courbe d'étalonnage, les valeurs des concentrations pour les solutions de dosage. Calculer à partir de ces valeurs en tenant compte des dilutions éventuelles, les concentrations des échantillons analysés. Les résultats sont exprimés en milligramme par litre (mg/l).

Remarque

Avant de doser le sodium, il faut toujours vérifier les valeurs de la conductivité (car cette dernière a un apport proportionnel à la dilution c'est-à-dire plus la conductivité est grande plus la dilution de sodium est grande et vice versa. Alors pour le cas de potassium on ne fait pas de la dilution sauf quand la conductivité est grande.

A.II.1.3. Dosage des anions

A.II.1.3.1. Dosage des bicarbonates (HCO_3^-)

Mode opératoire

- Détermination du TA

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ($\text{pH} < 8,3$). Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} 8,3$).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

- Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose ($\text{pH} 4,5$). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO_2 qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage (voir ci-dessus).

Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage.

Expression des résultats

- TA

$V/5$: exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

V : exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1°f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

- TAC

$V'/5$: exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

V' : exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

A.II.1.3.2. Dosage des nitrates (NO_3^-)

Préparation des solutions étalons

Prendre successivement:

0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10ml de la solution mère de nitrate et compléter chaque prélèvement à 100ml par de l'eau bidistillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement:

5, 10, 20, 40, 60, 80 et 100mg/l de nitrates

Mode opératoire

Dans un erlen de 100ml, ou mieux dans un flacon en verre brun de 100ml, introduire:

- Prise d'eau = 1ml
- Solution de Soude 0,05M = 5ml
- Mélange Réducteur = 5ml

Agiter après chaque addition et attendre 1 heure avant d'ajouter:

- Mélange colorant = 40ml

laisser la coloration se développer dans l'obscurité pendant $\frac{1}{4}$ heure. Mesurer sa densité à 520nm.

Le passage au colorimètre ne doit intervenir que juste avant la mesure optique afin que la solution soit exposée un minimum de temps à la lumière à laquelle elle est très sensible.

La réduction des nitrates est partielle et varie avec le temps et la température. Il importe donc que la mesure des échantillons soit toujours accompagnée d'une mesure des solutions étalons, traitées dans les mêmes conditions.

A.II.1.3.3. Dosage des Chlorures

Mode opératoire

- On place les prises d'eaux (5ml) dans des erlens de 50ml les prises d'eaux des solutions étalons, le témoin (H_2O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:
- On ajoute dans l'ordre 15ml de la solution de thiocyanate mercurique préalablement diluée au 1/3 puis 15ml de la solution nitrique d'alun ferrique également diluée au 1/6.
- On agite vigoureusement les erlens pour uniformiser la coloration qui apparaît et on laisse au repos pendant $\frac{1}{2}$ heure.
- On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470nm en réglant le zéro avec le témoin.

Préparation des solutions étalons

On prend successivement :

100, 80, 65, 50, 35, 20, 10 et 5ml de la solution mère de Cl^- , puis on complète chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement :

1000, 800, 650, 500, 350, 200, 100 et 50 mg/l en chlorures. Les stocker dans des flacons étiquetés.

Expression des résultats

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

A.II.1.3.4. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Solutions étalons

Prendre successivement:

50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5ml de la solution mère de SO_4^{2-} , compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 500, 400, 300, 200, 150, 100 et 50mg/l en SO_4^{2-} .

Mode opératoire

- On place les prises d'eaux (5ml) dans des erlens de 50ml

Les PE des solutions étalons, le témoin (H_2O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:

- On ajoute à chaque prise d'eau, 20ml de la solution de BaSO_4 et de gélatine préalablement diluée au 1/6.

- On agite pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait comme conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures.

-On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 495nm en reliant le zéro avec le témoin.

Expression des résultats

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

A.II.1.3.5. Dosage des silices (SiO_2)

Méthode par flux continu

Gamme de mesure

0,3 mg/l – 0,6 mg/l – 0,9 mg/l – 1,2 mg/l – 1,5 mg/l.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en mg/l en se rapportant à la courbe d'étalonnage.

A.II.1.4. Dosage des éléments chimiques indicateurs de pollution

A.II.1.4.1. dosage de l'ammonium

Réactifs

Réactifs I :

- Acide dichloro isocyanurique2gr.
- Hydroxyde de sodium32 gr.
- Eau distilléeq.s.p 1000 ml.

Réactifs II :

- Tricarbonate de sodium130 gr.
- Salicylate de sodium 130 gr.
- Nitropruciate de sodium 0.97 gr.
- Eau distillée q.s.p 1000 ml.

Tableau N° : gamme d'étalon de l'ammonium :

Solution fille i mg/L	0	1	2.5	5	2	40
Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	25	10
Réactifs I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactifs II coloré (ml)	4	4	4	4	4	4

Attendre 1 h 30

concentration d'ammonium (NH ₄ ⁺) en mg/L	0	0.02	0.05	0.1	0.5	0.8
---	---	------	------	-----	-----	-----

Mode opératoire

- prendre 40 ml d'eau à analysé.
- Ajouter 4 ml du réactif I.
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1h30.
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH₄⁺.

Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/L.

A.II.1.4.2. dosage des nitrites

Méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire

Réactifs

- Acide orthophosphorique ($d = 1,70$).

Réactif de diazotation :

- Amino-4-benzènesulfonamide 40 g.
- Dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane 2 g.
- Acide orthophosphorique ($d = 1,7$)..... 100 mL.
- Eau permutée *q.sp.* 1000 mL.

Mélanger dans un bécher 800 mL d'eau permutée et 100 mL d'acide phosphorique, ajouter l' amino-4-benzènesulfonamide puis après dissolution, ajouter le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane. Agiter jusqu'à complète dissolution. Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000 mL, ajuster le volume avec de l'eau permutée.

Conservée au réfrigérateur, cette solution est stable un mois.

Solution mère étalon d'azote nitreux (NO₂) à 100 mg/ L :

- Nitrite de sodium..... 492,8 mg.
- eau permutée *q.sp.* 1000 mL.

Conservée en flacon de verre inactinique, cette solution est stable un mois.

- Solution fille étalon d'azote nitreux (NO₂) à 1 mg/ L :

Diluer au 1/100 la solution précédente avec de l'eau permutée. À préparer extemporanément.

Établissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 50 ml :

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution fille étalon à 1 mg IL	0	1	2.5	5	7.5	10
Eau permutée (ml)	50	49	47.5	45	42.5	40
Correspondance en milligrammes par litre d'azote nitreux (NO ₂)	0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.20
Réactif de diazotation (ml)	1	1	1	1	1	1

Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 543 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitreux (NO₂), exprimée en milligrammes par litre d'eau.

A.II.1.4.3. dosage des phosphates

Réactifs

Solution d'acide ascorbique10g/l.

Solution de molybdate d'ammonium.

Solution mère de phosphate (po₄³⁻).....1g/l.

Solution de po₄³⁻..... 10mg/l.

Mode opératoire

Les phosphates totaux sont dosés après minéralisation du prélèvement. Pour cela, introduire une prise d'essai de l'échantillon (ou un volume déterminé en fonction de la teneur supposée en phosphate) dans un erlen de 100ml. Ajouter 1ml d'acide sulfurique obtenue en ajoutant 31ml d'acide sulfurique concentré dans 60ml d'eau distillée et en complétant à 100ml. Ajouter 0,4g de persulfate d'ammonium. Porter à ébullition et chauffer régulièrement pendant environ 1 heure pour obtenir un volume final de 10ml.

Alcaliniser par une solution d'hydroxyde de sodium 3N jusqu'à coloration rose en présence de la phénolphthaléine. Décolorer avec une goutte d'acide sulfurique.

Laisser refroidir et compléter à 50ml avec de l'eau distillée et procéder au dosage des phosphates totaux selon la méthode utilisée pour le dosage de l'orthophosphates.

Recommander de procéder de la même manière avec les solutions étalons.

A.II.1.4.4. dosage de la matière organique

Mode opératoire

- Mettre dans un erlen de 500 ml, 100ml d'eau à analysée à l'aide d'une fiole de 100 ml.
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique au ½ avec une pro pipete et une pincée de HgSO_4 afin de masquer la présence des ions chlorures.
- Chauffer et ajouter au début de l'ébullition, 10 ml de KMnO_4 à N/80.
- Continuer l'ébullition pendant 10 mn, (s'il y a décoloration il faut diluer l'échantillon).
- Refroidir rapidement et ajouter 10 ml de sulfates ferreux ammoniacal à N/80.
- Tirer avec du permanganate de potassium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose.
- Procéder de la même manière avec un témoin d'eau distillée sans ajouter HgSO_4 .

Expression des résultats

$$X \text{ (mg/L)} = |V_1 - V_2| * f$$

V_1 : volume KMnO_4 (échantillon).

V_2 : volume KMnO_4 (blanc : l'eau distillée).

f : facteur de dilution.

Si on trouve la teneur en matière organique supérieure a 3,5 mg O_2 /L, recommencer en diluant l'échantillon.

Annexe III

Tableau A.III.1. Indices NPP par gramme ou millilitre d'échantillon et limites de confiance à 95 % (avec 3 séries de 5 tubes contenant 0.1 ,0.01 et 0.001 g d'échantillon)

Combinaison de tubes positifs	NPP/g	Limite de confiance à 95%		Combinaison de tubes positifs	NPP/g	Limite de confiance à 95%	
		inférieure	supérieure			inférieure	supérieure
0-0-0	<2	-	-	4-3-0	27	12	67
0-0-1	2	1.0	10	4-3-1	33	15	77
0-1-0	2	1.0	10	4-4-0	34	16	80
0-2-0	4	1.0	13				
				5-0-0	23	9.0	86
1-0-0	2	1.0	11	5-0-1	30	10	110
1-0-1	4	1.0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-0	4	1.0	15	5-1-0	30	10	120
1-1-1	6	2.0	18	5-1-1	50	20	150
1-2-0	6	2.0	18	5-1-2	60	30	180
2-0-0	4	1.0	17	5-2-0	50	20	170
2-0-1	7	2.0	20	5-2-1	70	30	210
2-1-0	7	2.0	21	5-2-2	90	40	250
2-1-1	9	3.0	24	5-3-0	80	30	250
2-2-0	9	3.0	25	5-3-1	110	40	300
2-3-0	12	5.0	29	5-3-2	140	60	360
				5-3-3	170	80	410
3-0-0	8	3.0	24				
3-0-1	11	4.0	29	5-4-0	130	50	390
3-1-0	11	4.0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-1	14	6.0	35	5-4-2	220	100	580
3-2-0	14	6.0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-1	17	7.0	40	5-4-4	350	160	820
4-0-0	13	5.0	38	5-5-0	240	100	940
4-0-1	17	7.0	45	5-5-1	300	100	1300
4-1-0	17	7.0	46	5-5-2	500	200	2000
4-1-1	21	9.0	55	5-5-3	900	300	2900
4-1-2	26	12	63	5-5-4	1600	600	5300
4-2-0	22	9.0	56	5-5-5	>_1600	-	-
4-2-1	26	12	65				

Annexe IV

Analyses physico-chimiques



Figure.1. pH-mètre.



Figure.2. Conductivimètre.



Figure.3. Analyseur a flux continu pour
Le dosage des anions (SKALAR).



Figure .4. Analyseur a flux continu
pour le dosage des cations.



Figure .5.Flame photometer.



Figure .6. Pompe à vide.

Analyses bactériologiques



Figure 1 : Recherche et dénombrement des Coliformes totaux, Coliformes fécaux en milieu liquide sur BCPL.



Figure 2 : L'étuve

Annexe V

Tableau A.V.1. Résultats d'analyses physicochimiques de la source S1 de l'année (2003-2004).

Campagne	Date d'analyse	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l	C.E (µS/Cm)	Min. mg/l	R.S. mg/l	S. Ions	pH	TH	TAC	SiO2 mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l	M.O mg/l	PO4 mg/l
Décembre	05/01/03	79	15	18	0	20	53	245	0	0	6	510	316	404	436	7,2	26	20	18,1	0	0	1,50	0
Janvier	08/02/04	86	24	5	0	21	63	223	0	0	24	550	341	399	446	8,2	32	18	17,0	0	0	0,80	0
Février	23/02/04	85	24	15	0	22	47	243	0	0	81	620	384	471	517	7,5	31	20	25,0	0	0	51	0
Mars	29/03/04	96	26	60	0	85	87	275	0	0	17	840	521	582	646	7,2	35	23	11,8	0	0	0,20	0
Avril	04/05/04	84	8	8	0	8	35	242	0	0	16	440	273	239	402	7,1	24	20	28,4	0	0	2,00	0
Mai	30/05/04	60	17	20	4	28	45	153	0	0	39	460	285	347	365	7,1	22	13	27,0	0	0	0,20	0
juin	27/06/04	57	25	25	0	45	70	177	0,0	0,0	18	540	334,8	381,0	416,4	7,4	24,7	14,5	22,0	0	0	0,00	0
juillet	27/07/04	70	15	13	0	44	40	198	0	0	14	520	322	376	410	7,2	28	16	16,0	0	0	0,00	0
Août	30/08/04	69	61	25	0	25	110	232	0	0	83	803	574	815	835	7,1	53	19	17,6	0	0	0,00	0

Tableau A.V.2. Résultats d'analyses physicochimiques de la source S2 de l'année (2003-2004) .

Campagne	Date d'analyse	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l	C.E (µS/Cm)	Min. mg/l	R.S. mg/l	S. Ions	pH	TH	TAC	SiO2 mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l	M.O mg/l	PO4 mg/l
Décembre	05/01/03	45	19	8	0	10	23	195	0	0	9	340	211	287	309	7,8	19	16	14,6	0	0	1,50	0
Janvier	08/02/04	51	40	8	0	8	38	275	0	0	8	490	304	365	427	8,2	29	23	12,6	0	0	0,90	0
Février	29/02/04	46	28	15	0,0	10	40	228	0	0	2	420	260	314	369	8,2	23,1	18,7	2,4	0	0	1,60	0
Mars	04/03/04	48	19	10	1	8	13	212	0	0	8	350	217	508	559	8,1	20		15,2	0	0	0,50	0
Avril	17/05/04	49	6	10	0	10	20	160	0	0	1	280	174	219	256	8,1	15	13	23,0	0	0	0,50	0
Mai	01/06/04	47	22	5	0	50	8	152	0	0	1	370	229	248	285	8,1	21	12	24,0	0	0	0,30	0
juin	29/06/04	70	5	10	0	20	38	160	0	0	2	370	229	271	306	7,8	20	13	18,4	0	0	0,70	0
juillet	27/07/04	41	31	5	0	25	28	183	0	0	4	390	242	275	316	7,9	23	15	16,2	0	0	0,30	0
Août	30/08/04	61	21	0	0	11	58	201	0	0	2	410	254	311	353	7,7	24	17	17,6	0	0	0,40	0

Tableau A.V.3. Résultats d'analyses physicochimiques de la source S3 de l'année (2003-2004).

Campagne	Date d'analyse	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l	C.E (µS/Cm)	Min. mg/l	R.S. mg/l	S. Ions	pH	TH	TAC	SiO2 mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l	M.O mg/l	PO4 mg/l
Décembre	06/01/03	58	18	15	0	11	45	219	0	0	2	420	260	316	368	7,4	22	18	16	0	0	0	0
Janvier	08/02/04	113	27	5	0,0	13	55	357	0,0	0	5	640	397	493,00	574,22	8,10	39	29	11	0	0	1	0
Février	29/02/04	58	28	20	0,0	7	47	264	0	0	2	480	297,6	367	425	8,2	26	22	7	0	0	1	0
Mars	04/03/04	58	28	10	0	10	50	244	0	0	1	460	285	347	400	8,0	26	20	26	0	0	1	0
Avril	17/05/04	49	28	5	1	15	60	182	0	0	1	420	260	310	341	7,9	24	15	21	0	0	1	0
Mai	01/06/04	58	26	5	0	40	40	178	0	0	0	450	279	309	347	8,3	25	15	20	0	0	0	0
juin	29/06/04	62	13	20	0	20	63	166	0	0	2	430	267	311	345	7,6	21	14	19	0	0	0	0
juillet	27/07/04	47	15	5	0	8	38	171	0	0	3	320	198	248	286	7,7	18	14	14	0	0	0	0
Août	30/08/04	67	10	8	0	13	10	229	0	0	0	360	223	281	336	7,3	21	19	16	0	0	0	0

Tableau A.V.4. Résultats d'analyses physicochimiques de la source S4 de l'année (2003-2004).

Campagne	Date d'analyse	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l	C.E (µS/Cm)	Min. mg/l	R.S. mg/l	S. Ions	pH	TH	TAC	SiO2 mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l	M.O mg/l	PO4 mg/l
Décembre	05/01/03	44	19	8	1	11	42	170	0	0	3	350	217	290	298	7,1	19	14	17,0	0	0	0,00	0
Janvier	14/02/04	44	20	15	0	8	47	177	0	0	1	370	229	268	311	7,6	19	14	29,2	0	0	0,40	0
Février	06/03/04	26	18	20	0	1	42	183	0	0	1	320	198	251	291	7,5	14	15	0,0	0	0	0,00	0
Mars	10/04/04	46	14	10	0	6	42	177	0	0	3	330	211	258	298	7,4	17	14	27,0	0	0	0,00	0
Avril	10/05/04	48	11	13	0	3	40	170	0	0	5	330	205	254	291	7,2	17	14	28,8	0	0	0,00	0
Mai	06/06/04	43	10	10	0	8	38	140	0	0	0	290	180	220	249	7,1	15	12	24,4	0	0	0,20	0
juin	04/07/04	53	11	20	0	55	45	137	0	0	3	420	260	304	324	7,3	18	11	0,0	0	0	0,00	0
juillet	03/08/04	51	11	5	0	10	42	135	0	0	2	310	192	229	256	7,1	17	11	16,2	0	0	0,00	0
Août	12/09/04	57	9	2	0	6	8	184	0	0	1	290	180	222	267	7,3	18	15	15,0	0	0	0,40	0

Tableau A.V.5. Résultats d'analyses physicochimiques de la source S5 de l'année (2003-2004).

Campagne	Date d'analyse	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l	C.E (µS/Cm)	Min. mg/l	R.S. mg/l	S. Ions	pH	TH	TAC	SiO2 mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l	M.O mg/l	PO4 mg/l
Décembre	06/01/03	60	24	5	0	8	28	244	0	0	3	410	254	306	372	7,6	25	20	11,2	0	0	0,00	0
Janvier	11/02/04	65	30	3	0	8	30	271	0	0	13	470	290	396	420	7,3	29	22	0,0	0	0	0,00	0
Février	06/03/04	63	22	20	0	13	63	224	0	0	0	480	298	357	405	7,1	25	18	11,0	0	0	1,50	0
Mars	17/04/04	57	17	5	0	1	30	223	0	0	0	360	223	281	332	7,4	21	18	23,4	0	0	0,30	0
Avril	10/05/04	58	30	8	0	30	25	230	0	0	3	460	285	332	383	7,1	27	19	18,0	0	0	3,90	0
Mai	06/06/04	56	6	2	0	5	20	171	0	0	20	300	186	241	280	6,7	17	14	18,6	0	0	0,30	0
juin	03/07/04	59	16	10	0	45	33	167	0	0	1	420	260	276	331	7,0	21	14	12,4	0	0	0,00	0
juillet	03/08/04	59	26	5	0	10	100	173	0	0	1	470	291	348	373	7,0	25	14	13,6	0	0	0,00	0
Août	12/09/04	36	19	0	0	6	0	205	0	0	1	270	167	216	266	7,1	17	17	8,0	0	0	1,20	0

Références bibliographiques

- [1] : **BNEF, 1984** – Etude du milieu du parc national de Chréa. Bureau national des études forestières. Blida. 150 p.
- [2] : **ANONYME. 2005 a** – Plan de gestion II du Parc National de Chréa. Ed, du Parc de Chréa, période quinquennale 2005-2009, 212P.
- [3] : **MEDDOUR R. 1994** : Contribution à l'étude phytosociologique de la portion Centro-orientale du parc national de Chréa. Essai d'interprétation synthétique des étages et des séries de végétation de l'atlas Blidéen. Thèse de Magister. INA. Alger.
- [4] : **ANONYME. 2000** : Plan de gestion I. Période quinquennale 2000– 2005. Parc national de Chréa.
- [5] : **MESSAOUD Nassima. 2011** : Contribution à l'étude de la répartition des chauves-souris au Parc National de Chréa, Mémoire de magistère, Université SAAD DAHLAB BLIDA, 145p.
- [6] : **SBABDJI M. 1997** : Contribution a l'étude de la perte de croissance de *Cedrus atlantica* Manetti suite aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityacampa* schiff. Mémoire de magister. INA. Alger.
- [7]: **SBABDJI M., OLDACHE E. H., HADDAD A., KADIK B. & LAMBS L. 2009**: Cedar tree growth (*Cedrus atlantica* Manetti) in chréa national park, algeria, and the influence of defoliation by the pin processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* schiff). Rev. Écol. (Terre vie), vol. 64.
- [8] : **BNEF. 1981** : Etude de protection de la ville de Blida contre les eaux pluviales, Phase I «Analyse de la situation actuelle et propositions de l'aménagement ».108p.
- [9] : **DEGREMONT SA ; 2005** « Mémento technique de l'eau », Tome I, deuxième édition, page 39.

[10] : **Adrar Karim, Hamaga Samira.2005**, Contribution à l'étude de quelques paramètres physico-chimiques et bactériologiques de deux eaux minérales MOUZAIA et TOUDJA, mémoire d'ingénieur, Institut National Agronomique, Alger.

[11] : **MUSTAPHA BOUZIANI. 2006**. « L'eau dans tous ses états : sources de vie, ressource épuisable, maladies hydriques, pollutions chimiques » p 32.

[12] : **JEAN-CHRISTOPHE BLIGNY, PHILIPPE HARTEMANN, 2005**. Les eaux minérales naturelles et les eaux de source : cadre réglementaire et technique, Département « Environnement et Santé publique », SERES, faculté de médecine, France.

[13] : **Décret exécutif n 04-196 du 15 juillet 2004**, relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et les eaux de sources. Journal Officiel de la République Algérienne 2004.

[14] : **SCHOELLER H ; 1974**, les eaux souterraines. Ed : Multon, 520p.

[15] : **KASSIM COULIBALY ; 2005**, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako, thèse de doctorat, Université de Bamako.

[16] : **Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998**, relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Publication des communautés Européennes, Luxembourg. 1998.

[17] : **Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011**, relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Journal officiel de la République algérienne.2011.

[18] : **ABDELKRIM HAZZAB ; 2011**. *Eaux minérales* naturelles et eaux de sources en Algérie, P 24 Laboratoires de modélisation et méthodes de calcul, Université Dr Moulay, C.R. géoscience 343,20-31, 2011, Algérie.

[19] : **BORREGO A.F. et P. ROMERO (1982)**. Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. *VIe journée étud. Pollutions*, Cannes, France, pp. 561-569.

[20] : **GELDREICH E. (1976)**. Fecal coliform and fecal streptococcus density relationships in waste discharges and receiving waters. *Crit. Rev. Environ. Control*, 6, 349-369.

[21] : **STURMM MORGAN (1981)**.« Aquatic chemistry» 2 ième édition, John Wiley and sons.

[22] : **DJEMMAL SAMIR, 2008**, l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie sud-est de Sétif cas du guidjal. Thèse de magister, Université Mentouri-Constantine faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire.

[23] : **BOUZIANE M.T ; 2009** Les Eaux Profondes de la Région de Biskra (Algérie), *European Journal of Scientific Research* , Vol.25 No.4 , pp.526-537.

[24] : **RODIER. Jean, 2009**. « L'analyse de l'eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer : physico-chimie, bactériologie et biologie », 9 ième édition, Dunod, Paris.

[25] : **Monique TARDAT-HENRY, Jean-Paul Beaudry, 1993** : « Chimie des eaux ». 2 ième éditions, Ed le Griffon d'argile, Québec, 537p.

[26] : **Overrein, L.N. 1972**, Sulfur pollution patterns observed: leaching of calcium in forest soil determined. *Ambio*, p 145.

[27] : **Raymond Desjardins**, « *le traitement des eaux* », *Edition de l'E.P. Montréal*, (1990).

[28] : Rapport scientifique sur l'eau santé public (2003), Nitrates/ Nitrites, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 12 p.

[29] : Rapport scientifique sur l'eau santé public (2003), Coliformes totaux, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 4 p.

[30] : Rapport scientifique sur l'eau santé public (2003), Coliformes fécaux, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 3 p.

[31] : Rapport scientifique sur l'eau santé public (2003), Entérocoques et Streptocoques fécaux, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 5 p.

[32] : **ABDELHAK GHOULI ; 2009**, Modélisation Mathématique et Numérique de la Pollution dans un milieu poreux non Saturé. Application : Milieux Poreux Stratifiés, thèse de doctorat, UNIVERSITÉ MOHAMMED V – AGDAL FACULTÉ DES SCIENCES Rabat.

[33] : **OLVIER ATTEIA. 2005**, « chimie et pollutions des eaux souterraines», Ed TEC & DOC, Lavoisier.

[34] : **JEAN-PAUL, LARPENT. 1997**, Microbiologie alimentaire, techniques de laboratoire, Ed, Tec & doc- Lavoisier.

[35] : **E. LEBRES. 2002**, Microbiologie des eaux, des boissons et des produits de la mer, cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments, Institut PASTEUR d'ALGERIE.

[36] : **Guiraud J-P. 2003**, *Microbiologie alimentaire*, Dunod, Paris, RIA (Le mensuel de l'innovation alimentaire), 651 p.

[37] : **A.N.R.H, BETA CONSULT. 2005**. Étude des émergences d'eau du versant nord de l'Atlas Blidéen, rapport de synthèse, phase II, Agence Nationale des Ressources Hydriques.

[38] : **MOHAMED FETHI BEN HAMOUDA, 2008.** Approche hydrogéochimique et isotopique des systèmes aquifères côtiers du cap bon: cas des nappes de la cote orientale et d'el haouaria, thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université du 7 novembre à Carthage, Tunisie.

[39] : **AOUABED A, 2009.** Cours traitement des eaux potables, quatrième année génie de l'environnement, Université Saad Dahlab BLIDA.

[40] : **LANDREAU et al. 1990,** Nitrates-Agriculture-Eau, Edition R.CARLVET, Paris, p 576.

[41] : **ATKINS Peter, JONES Loretta. 1998,** Chemistry, Molecules, Matter and change, 3 ième édition , Ed Boeck, p1056.

[42] : **AOUABED A, 2003.** « Extraction, caractérisation et aptitude à la coagulation-floculation de la matière organique naturelle des eaux du barrage de Keddara (Algérie) » ; Thèse de doctorat d'état, université de Blida.

[43] : **LAHCEN GOURARI et al, 2000.** Variations des paramètres physico-chimiques des eaux de l'Oued Aggai : significations géo-environnementales et conséquences sur la précipitation des travertins actuels (Cause de Sefrou, Moyen-Atlas- Maroc), Journal of African Earth Science, p 283.

[44] : **DIB IMENE, 2009.** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine - Ain yaghout (Est Algérien), mémoire de Magister , Université Hadj Lakhdar Batna.

[45] : **THURMAN, E.M. 1985.** Developments in Biochemistry : Organic Geochemistry of Naturel Waters, M.Nijhff, Dr W. Junk Publishers, Drodrecht.

[46] : **AIKEN, G.R, et al. 1985.** An introduction to humic substances in soil, sediment and water, Wiley Interscience, New York.

[47] : **CARLA LOURENÇO et al, 2010.** Classification of Natural Minéral and Springs bottled waters of Portugal using Principal Component Analysis. Journal of Geochemical Exploration, p 372.

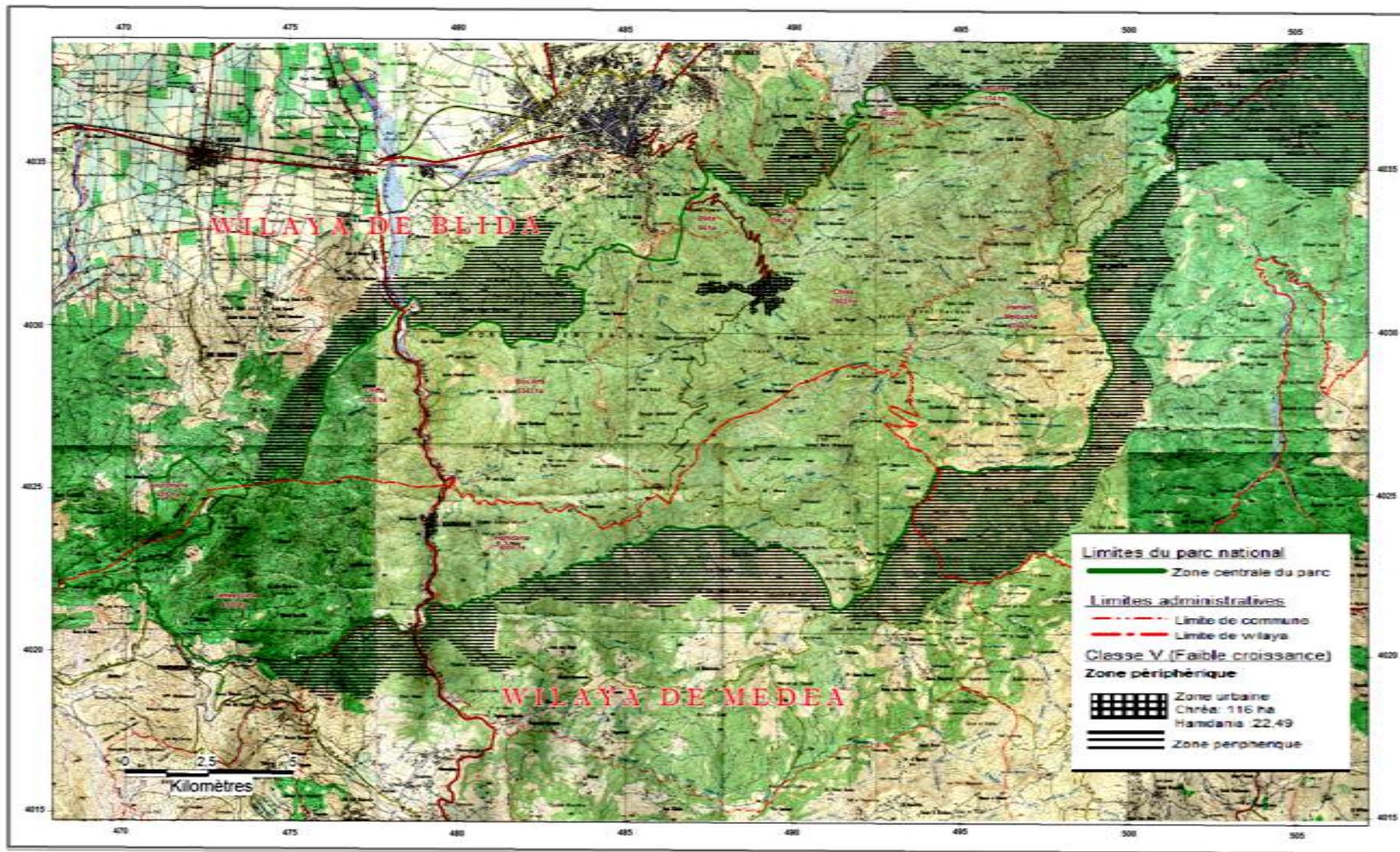


Figure I.1. Carte des limites du parc national de Chréa [5].