

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABBAS LAGHROUR- KHENCHELA
INSTITUT DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master II
ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Thème

**Etude comparative entre deux sources d'eau Naturelle
de la wilaya de Khenchela : Ain Al Karma & Ain Sfa**

Par

LALAOUNA Mehieddine

MERDACI Ilies

Directrice de mémoire : Dellaa Yasmina

MAT (Universite Abbas Laghrour- Khenchela)

Devant le Jury :

Président Moujari Zoubir

MAT (Universite Abbas Laghrour- Khenchela)

Examineur Boulaabaeiz Mahrez

MAT (Universite Abbas Laghrour- Khenchela)

Examineur Halimi Samia

MAT (Universite Abbas Laghrour- Khenchela)

Invité Guelloul Mohamed

Direction de l'Hydraulique de la Wilaya

Dédicaces

Nous dédions le produit de notre recherche à nos parents " Abdelkader, Lamine, Fatma, Alima " qui nous ont soutenus tout le long de notre parcours scolaire ainsi qu'a nos frères et sœurs, sans oublier nos amis,

Nous voudrions également rendre hommage à tous nos enseignants pour leurs précieux conseils et leur disponibilité,

Une dédicace spéciale pour nos fleurs de la famille Merdaci : mon chère Amar, fatiha, abdelkarim, Mohamed, Yasser, Redah, Fatima Tesnime, Nadah, Rayane, soumia, lamia, saliha, à ma grande mère khadija et ma tonte noura

Et pour la famille Lalaouna : mes frères et sœurs Ayoub, Smail, Mohamed, Hamza, Haithame, Hanane, et Samira, et mon oncle Walide, Yacine, mes cousins Salah, Choaipe, Ousama...

Et aussi à mon chère ami Hichame Rachachi, avec qui j'ai passé de bons moments, au centre universitaire Khenchela; à tous mes amis Omar Bekhouche, Bilel Djebbari, Bilel Falek, Sofiane Djbaïli, Walide Bougofa, Elhachemi Chirmsel, ...

Sans oublier toutes les personnes qui nous ont accompagnés dans au cours du Master, sans oublier toute l'équipe administrative.

Maheidine et Ilies

Remerciements

Ce travail doit beaucoup à la collaboration de nombreuses personnes à la tête desquelles nous voudrions citer:

Melle **Dellaa Yasmina** notre encadreur que nous félicitons pour sa rigueur et sa patience, merci à vous pour les conseils, orientation, aide et disponibilité,

L'interprétation des données est le fruit de discussions et conseils fructueux, merci à Melle **Dellaa Yasmina**,

Monsieur **Boumaaraf Abdelali**, directeur de l'institut qui nous a fourni l'essentiel du matériel et pour sa disponibilité rendant possible les stages dont nous avons eu besoin,

Et également à monsieur **Boulaabais Mahrez** pour ses informations et encouragements, Melle **Halimi Samia** pour avoir accepté de faire part du jury et Monsieur **Moujari Zoubir** pour avoir accepté la présidence du jury.

Merci à notre ami et frère **Rechachi Hichem** pour sa disponibilité sur terrain et son aide pour finaliser ce modeste travail.

En ce qui concerne la partie analytique, rien n'aurait été possible sans l'accueil du laboratoire LACILAP Ain M'lila particulier de Mr **Bekha El Hani**, ainsi qu'à Monsieur **Sid Ilies** du laboratoire SIDLAB, qu'ils trouvent ici l'expression de notre grande gratitude.

Merci à mon ami **Bekhouche Omar** pour son aide,

Sur terrain, les aides ont été nombreuses, en ce qui concerne la disponibilité un merci spécial à monsieur **Djelloul Larbi** (directeur de HCDS) pour toutes les journées de terrain qu'il nous a consacrés et pour sa connaissance infaillible de la région.

Nos remerciements vont spécialement à :

Monsieur **Gloul Mohamed** (Ingénieur au service de Forages), pour ses éclaircissements sur la géologie de la région,

Monssieur **Benghanem Mohamed** Moncef pour ses conseils,

Monsieur **Zerouk Abdel Moumen** (Bureau d'études en hydraulique), qui nous a orientés dans la recherche documentaire.

Ainsi qu'à Melle **Zerdoum Noucha** pour sa disponibilité ainsi que tout le personnel au niveau des services de l'hydraulique de la Wilaya de Khenchela.

Nos remerciements sont exprimés au personnel de l'Algérienne Des Eaux.

مقارنة هيدروكيميائية بين منبعي عين الكرمة وعين الصفئ

Année universitaire 2011/2012

ولاية خنشلة من ولايات التي تعاني من الطلب المتزايد على مصادر المياه في مختلف مناطقها نظرا لأهمية هذه المادة.

سبب اختيار موضوع البحث كان من اجل توضيح الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمنبعين أساسيين الأول منبع عين الكرمة المتواجد في عاصمة الولاية و الثاني منبع عين الصفئ المتواجد في بلدية طامزة نظرا الكبير عليهما.

بعد الزيارة الميدانية و اخذ العينات لتحليلها المعلومات المناخية و حساب الحصيلة المائية و بعد البحث حول مختلف التكوينات الجيولوجية لمنطقة الدراسة وبعد الدراسة الهيدروكيميائية التي تسمح لنا بتصنيف مياه المنبعين عن طريق مختلف مخططات البيانية. مقارنة النتائج مع معايير المنظمة العالمية للصحة وجدنا ان المنبعين تتمتع بنوعية جيدة للشرب أو للسقي.

كلمات مفتاحية

عين الصفئ, عين الكرمة, هيدروكيميائية, الصلاحية للشرب , المناخية, الجيولوجية, .

Comparative study on two natural waters at Ain Al Karma and Ain Sfa sources

Abstract

The Wilaya of Khenchela, East Algeria, is one of Wilayate which suffers from a high demand on the water resources in their various localities, because of the importance of this living matter. The choice of this subject consists in determining the physicochemical characteristics of the two sources strongly attended by the population of the wilaya. The first is the source of Ain Al Karma, located at the commune of Khenchela and the second source of Ain Sfa, located at the commune of Tamza. After some visits of the study area, we carried out samplings to analyze. A climatic data gathering (temperatures, precipitations, ETR, ETP, agricultural deficit, Surplus, Infiltration, and Rainout) are carried out to determine the hydrous balance. A specific research is carried out to determine the various geological formations of the zone comprising the two sources. The hydrochimy allowed a classification of water by using diagrams for the classification of waters (Diagramms of Piper, Stabler, Schoeller-Berkaloff Wilcox and Riverside). The interpretation of the various results and diagrams used was done by comparing these results with WHO standards. Climatic configuration and geological formations affect on the quality of the two sources which have a good quality for the human use (potability) and for the irrigation of the arable lands.

Key words:

Hydrochemisty, geology, climate, irrigation, Ain Al Karma, Ain Sfa.

Résumé

La Wilaya de Khenchela est l'une des Wilayate qui souffrent d'une forte demande des ressources en eau dans les différentes localités, vue l'importance de cette matière vivante. Le choix du présent sujet consiste à déterminer les caractéristiques physico-chimiques des deux sources fortement fréquentées par la population de la wilaya. La première est la source de Ain Al Karma, située à la commune de Khenchela et la seconde source de Ain Sfa, localisée à la commune de Tamza. Après la visite de la zone d'étude, nous avons effectué des prélèvements d'échantillons pour les analyser. Une collecte des données climatiques (températures, précipitations, ETR, ETP, déficit agricole, Excédent, Infiltration, Ruissèlement) est réalisée pour déterminer le bilan hydrique. Une recherche spécifique est réalisée pour déterminer les différentes formations géologiques de la zone comportant les deux sources. L'hydrochimie qui permet Une classification des eaux est faite en utilisant des diagrammes pour la classification des eaux (Piper, Stabler, Schoeller-Berkaloff Wilcox et Riverside). L'interprétation des différents résultats et diagrammes utilisés s'est faite en comparant ces résultats avec les normes OMS. La configuration climatique et les formations géologiques influent sur la qualité des deux sources qui présentent une qualité bonne pour l'utilisation humaine (potabilité) et pour l'irrigation des terres agricoles.

Mots clé : Eaux naturelles, Hydrochimie, Géologie, Climatologie, Potabilité, Irrigation, Ain Al Karma, Ain Sfa.

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux de la wilaya de Khenchela
ANRH : Agence National des Ressources Hydrique
Ca : Calcium
CE : Conductivité électrique ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
CF : conservation des forets de la wilaya de Khenchela
Cl : Chlorure
DA : Déficit Agricole (mm)
 D_a : Densité apparente du sol
DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
DPAT : Direction de la Planification et l'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Khenchela
EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétracétique
ETP : Evapotranspiration Potentielle (mm)
 ETP_c : ETP corrigée (mm)
 ETP_{nc} : ETP non corrigée (mm)
ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)
EX : Excédent en eau du sol (mm)
 HCO_3 : bicarbonates
 H_c : Capacité de rétention (%)
I : Indice de De Martonne
K : Potassium
Mg : Magnésien
M: moyenne des maximales du mois le plus chaud en degré absolu ($^{\circ}\text{K}$);
m: moyenne des minimales du mois le plus froid en degré absolu ($^{\circ}\text{K}$)
Na : Sodium
NE-SW : Nord Est-Sud West
 NO_3^- : nitrates
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
O N M S K : Office National de la Météorologie Station Khenchela
pH : Potentiel d'Hydrogène
P : Précipitation
P: Profondeur de la terre parcourue par les racines en (m)
Q2 : Quotient pluviométrique.
R : Ruissellement
RFU : Réserve facilement utilisable
SAR : Sodium Absorption Ratio
 SO_4^{-2} : Sulfates
T : Température ($^{\circ}\text{C}$).

Liste des figures

Figure I-1: Le cycle hydrologique

Figure I- 2 : Les bassins versants en Algérie

Figure I-3 Carte géologique de la Wilaya de Khenchela

Figure I-4: La lithostratigraphie de la zone d'étude

Figure I-5: Schéma structural de la carte géologique de Khenchela

Figure I-6: Coupe interprétative de Ras Serdoun, et de Djebel Aurès

Figure I-7: Coupe géologique 1 sur la carte géologique de Khenchela

Figure I-8 : Coupe géologique 2 sur la carte géologique de Khenchela

Figure II-1 : Situation géographique de la wilaya de Khenchela

Figure II-2: Carte administrative de la wilaya de Khenchela

Figure II-3 : Photo Aérienne des deux sources par Google earth

Figure II-4: Représentation graphique des grands ensembles de relief de la wilaya

Figure II-5: Carte du relief de la wilaya de Khenchela

Figure II-6: Carte lithologique de la wilaya de Khenchela

Figure II-7 : Carte de réseaux hydrographique de la wilaya de Khenchela

Figure II-8 : Carte des classes des sols de la wilaya de Khenchela

Figure II-9: Représentation graphique des terres de Khenchela

Figure II-10: Carte représentative des terres de la wilaya de khenchela

Figure II-11: Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Khenchela pour la période de 1994/1995 à 2010/2011.

Figure II-12: Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Khenchela pour la période de 1994/1995 à 2010/2011.

Figure II-13: Variation des températures mensuelles à la station de Khenchela pour la période de 1994/1995 à 2010/2011.

Figure II-14 : Carte de pluviométrie de la wilaya de Khenchela

Figure II-15: Evolution des précipitations annuelles à la station de Khenchela pour la période de 1994/1995 à 2010/2011.

Figure II-16: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Khenchela pour la période de 1994/1995 à 2010/2011.

Figure II-17: Diagramme ombrothermique de la station de Khenchela

Figure II-18: Abaque de l'indice d'aridité annuel de Martonne

Figure II-19: Climagramme d'Emberger de la station de Khenchela

Figure II-20: Régime pluviométrique saisonnier à la station de Khenchela pour la période de 1994/1995 à 2010/2011

Figure II-21: Evapotranspiration estimée par la formule de Thornthwaite

Figure II-22: Représentation graphique du bilan hydrique (1994/1995 à 2010/2011) selon la méthode de Thornthwaite à station de Khenchela

Figure II-23: Bilan hydrique pour l'année la plus humide (2010) selon la méthode de Thornthwaite à la station khenchela.

Figure II-24: Bilan hydrique pour l'année la plus sèche (2000) selon la méthode de Thornthwaite à la station de Khenchela.

Figure II-25: Mesure des paramètres physiques sur site (Ain Al Karma)

Figure II-26: Mesure des paramètres physiques sur site (Ain Sfa)

Figure II-27: Photomètre à Flamme

Figure II-28: Méthode du Système Photomètre

Figure III-1: Représentation graphique de la température des deux sources

Figure III-2: Comparaison du pH entre les deux sources et les normes OMS

Figure III-3: Comparaison de la conductivité entre des deux sources et les normes OMS

Figure III-4: Concentrations en Ca^{2+} des deux sources et les normes OMS

Figure III-5: Les concentrations en mg^{2+} entre des deux sources et les normes OMS

Figure III-6: Les valeurs en Na^{2+} entre les deux sources par rapport aux normes OMS

Figure III-7: Les valeurs de K^+ entre les deux sources par rapport aux normes OMS

Figure III-8: Les valeurs de Cl^- entre les deux sources par rapport aux normes OMS

Figure III-9: Les concentrations de SO_4^{2-} entre les deux sources par rapport aux normes OMS

Figure III-10: Les concentrations de HCO_3^- entre les deux sources par rapport aux normes OMS

Figure III-11: Les concentrations de NO_3^- des deux sources par rapport aux normes OMS

Figure III-12: La représentation des sources sur le diagramme de Piper

Figure III-13: La représentation des sources sur le diagramme de Stabler

Figure III-14: La représentation des sources sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Figure III-15: Représentation des sources sur le diagramme de Wilcox

Figure III-16: La représentation des sources sur le diagramme de Riverside.

Liste des Tableaux

Tableau I-1 : Masse volumique de l'eau en fonction de la température

Tableau I-2 : Solubilité des substances chimiques dans l'eau

Tableau I.3 : Solubilité des sels minéraux

Tableau II-1 : Coordonnées GPS des deux sources

Tableau II-2: Les Coordonnées géographiques de la station de mesure

Tableau II-3: Classification climatique de De Martonne

Tableau II-4: Valeur du quotient pluviométrique d'Emberger à la station de kenchela de 1994 à 2011

Tableau II-5: Régime pluviométrique saisonnier à la station de Khenchela pour la période 1994 à 2010/2011

Tableau II-6: Répartition des précipitations à la station de Khenchela

Tableau III-1 : Classification des eaux d'après leur pH

Tableau III-2 : Faciès chimiques des deux sources

Tableau III-3 : Classification des eaux pour l'irrigation

Sommaire

Résumé en arabe	i
Résumé en anglais	ii
Résumé en français	iii
Liste des abréviations	iv
Liste des tableaux	v
Liste des figures.....	vi
Sommaire.....	viii
Introduction	1

Chapitre 1: Synthèse bibliographique

I) Généralités sur l'eau

I.1. Formes de l'eau	4
I.1.1. Forme Gazeux	4
I.1.2. Forme Solide	4
I.1.3. Forme liquide	4
I.2. Propriétés physiques de l'eau	4
I.2.1. Masse volumique	4
I.2.2. Viscosité.....	5
I.3. Propriétés électriques	5
I.3.1. Constante diélectrique	5
I.3.2. Conductivité électrique de l'eau	5
I.4. Propriétés optiques	5
I.5. Solubilité des substances chimiques dans l'eau.....	5
I.5.1. Solubilité des gaz	5
I.5.2. Solubilité des liquides	6
I.5.3. Solubilité des solides.....	6
I.6. Le cycle hydrologique.....	7

I.7. Gestion des ressources en eau	7
I.8. Hydrologie des surfaces continentales africaines.....	8
I.9. Hydrologie du Nord Algérien	8
II) Géologie de la région	
Introduction	11
II.1. Géologie de l'Atlas saharien.....	11
II.2. Lithostratigraphie	12
II.2.1. Le Quaternaire	14
II.2.1.1. Les éboulis	14
II.2.1.2. Les alluvions récente ou actuelle	14
II.2.1.3. Les glacis polygéniques nappant les reliefs.....	14
II.2.1.4. Le Villafranchien	14
II.2.2. Le Miocène	15
II.2.2.1. Le Tortonien supérieur.....	15
II.2.2.2. Le Tortonien gréseux blanc	15
II.2.2.3. Le Langhien-serravalien	16
II.2.2.4. L'Aquitano-Burdigalien	16
II.2.3. Le Crétacé	16
II.2.3.1. Le Crétacé supérieur	16
a. Le Maestrichtien	16
a.1. Le Maestrichtien supérieur	16
a.2. Le Maestrichtien inferieur	17
b. Le Campanien.....	17
c. Le Santonien	17
d. Le Coniacien.....	17
e. Le Turonien.....	17
e.1. Le Turonien moyen et supérieur.....	17

e.2. Le Turonien basal	17
f. Le Cénomanién	17
f.1. Le Cénomanién supérieur	18
f.2. Le Cénomanién moyen.....	18
f.3. Le Cénomanién inférieur.....	18
2.3.2. Le Crétacé inférieur	19
a. L'Albién	19
b. L'Aptién	19
II.2.4. Le Trias	20

Chapitre 2: Matériels et méthodes et zone d'étude

I) Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique de la wilaya	22
I.2. Situation administrative.....	23
I.3. Zone d'étude.....	24
a. Cordonnées spatiales de la zone d'étude	24
I.4. Le relief	25
I.5. Aperçu géologique	26
I.6. Aperçu géomorphologie	27
I.7. Réseau hydrographique	28
I.8. Pédologie.....	29
I.8.1. Classes du sol	30
I.8.1.1. Sols calcaires humifères	30
I.8.1.2. Sols insaturés humifères.....	30
I.8.1.3. Sols calciques	30
I.8.1.4. Sols éoliens d'ablation	30
I.8.1.5. Sols alluviaux basiques	30
I.8.1.6. Sols salins ou Solontchak.....	30

I.9. Distribution des terres de la wilaya de kenchela	31
I.9.1. Les parcours	31
I.9.2. Les terres agricoles.....	32
I.9.3. Les terres forestières.....	32
I.9.4. Les terres improductives	32
II) Etude climatique de la région	
Introduction	35
II.1. La station de mesures.....	35
II.2. Étude des facteurs climatiques.....	36
II.2.1. Température	36
II.2.1.1. Variations des températures moyennes annuelles.....	36
II.2.1.2. Variations des températures moyennes mensuelles.....	37
II.2.1.3. Variations des températures minimales et maximales mensuelles	37
II.2.2 Précipitations	38
II.2.2.1. Variations interannuelles des précipitations	39
II.2.2.2. Variations mensuelles des précipitations	40
II.3. Caractérisation du climat	40
II.3.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussien.....	41
II.3.2. Indice de De Martonne.....	41
II.3.3. Le diagramme d'Emberger.....	43
II.3.4. Le régime saisonnier	44
II.4. Estimation de l'évapotranspiration	45
II.4.1. Évapotranspiration potentielle (ETP)	45
II.4.2. Évapotranspiration réelle (ETR).....	46
II.5. Le bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite	47
II.6. Ruissellement R	49
II.7. Infiltration I.....	50

III) Matériels et méthodes

Introduction	53
III.1. Prélèvement	53
III.2. Paramètres mesurés sur site	54
III.2.1. Température.....	54
III.2.1.1. Mode opératoire.....	54
III.2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)	55
III.2.3. Conductivité électrique.....	55
III.2.4. Salinité.....	55
III.3. Les paramètres chimiques (anions et cations)	56
III.3.1. Calcium et Magnésien	56
III.3.1.1. Principe.....	56
III.3.1.2. Réactifs nécessaires	56
III.3.1.3. Mode opératoire.....	56
III.3.2. Sodium et potassium.....	57
III.3.2.1. Méthode du Photomètre à Flamme.....	57
III.3.2.1.1. Mode opératoire.....	57
III.3.2.1.2. Méthodes de mesure	57
III.3.4. Chlorures	58
III.3.4.1. Méthode de Charpentier-Volhard.....	58
III.3.4.1.1. Principe.....	58
III.3.4.1.2. Réactifs	58
III.3.4.1.3. Mode opératoire.....	58
III.3.4.1.4. Expression des résultats.....	58
III.3.5. Sulfates et nitrates.....	59
III.3.5.1. Méthode du Système Photomètre	59
III.3.5.1.1. Mode opératoire.....	59

III.3.6. Bicarbonates	59
-----------------------------	----

Chapitre 3 : Résultats et discussions

I) Résultats et discussions des paramètres hydrochimiques considérés

Introduction	61
I.1. Etude des paramètres physico-chimiques	61
I.2. Les paramètres physiques.....	62
I.2.1. Température	62
I.2.2. Potentiel d'Hydrogène	62
I.2.3. Conductivité électrique	63
I.3. Etude des paramètres chimiques	64
I.3.1. Calcium	64
I.3.2. Magnesium	65
I.3.3. Sodium	65
I.3.4. Potassium	66
I.3.5. Chlorures	66
I.3.6. Sulfates	67
I.3.7. Bicarbonates	67
I.3.8. Nitrates	67
I.4. Détermination des principaux facies hydro chimiques	69
I.4.1. Diagramme de Piper	69
I.4.2. Diagramme de Stabler	70
I.4.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	71
I.5. Caractérisation des sources pour l'irrigation.....	72
I.5.1. Classification des eaux par la méthode de Wilcox.....	73
I.5.2. Classification des eaux par la méthode de Riverside	74
Conclusions et perspectives.....	77
Références bibliographiques.....	79

Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à la vie. Elle revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines et peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou tout simplement d'une qualité médiocre à d'autres endroits. Il est certain que l'augmentation de la demande en eau pour les activités humaines accentue les contraintes sur cette ressource. En outre, les facteurs naturels, telle que la sécheresse ou les contraintes géologiques, ont un effet sur l'approvisionnement en eau potable et sa distribution. Il est donc essentiel de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de gérer cette ressource pour en assurer la durabilité.

Ce travail est consacré à la qualité de deux sources naturelles d'eau à la Wilaya de Khenchela, à savoir la source de Ain Sfa et celle de Ain El Karma que nous avons sélectionné. Ces deux points d'eau sont localisés à la commune de Khenchela pour le premier (source de Ain Al Karma) et à la commune de Tamza pour le deuxième (source de Ain SFA).

L'approche hydrochimique dans ce travail permet de :

- connaître les faciès chimiques des deux sources, leur qualité de potabilité, ainsi que leur classification pour l'irrigation ;
- suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques ;
- déterminer leurs origines géologiques, et
- caractériser l'influence climatique et l'activité anthropique qu'elles subissent.

Elle permet aussi de comparer les deux sources entre elles et d'interpréter les données d'analyses à l'aide de diagrammes, comme les diagrammes de Piper, Stabler, Schöller et Berkalloff, Wilcox et Riverside.

Pour mieux aborder ce problème, nous avons adopté la méthodologie suivante :

1. Un aperçu géographique de la région d'étude.
2. Une étude du cadre géologique qui consistera à définir la lithologie des formations constituant la région, les différentes phases tectoniques et paléogéographiques ;
3. Une étude climatologique permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les deux sources.

4. Une étude hydrochimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des deux sources, de les comparer et de suivre l'évolution dans l'espace et dans le temps de ces faciès.

Vu que la population limitrophe utilise les eaux de ces deux sources pour de nombreux usages, il sera également apprécié d'évaluer la qualité des deux sources du point de vue potabilité et aptitude à l'irrigation.

I) Généralités sur l'eau

I.1. Formes de l'eau

I.1.1. Forme Gazeuze (vapeur d'eau) correspond exactement à la formule H_2O et en particulier au modèle angulaire (Degrémont, 2005).

I.1.2. Forme solide (glace), l'arrangement élémentaire consiste en une molécule d'eau centrale et quatre périphériques, l'ensemble affectant la forme d'un tétraèdre (système tétraédrique). Cette structure est due à l'association des molécules sous l'influence des liaisons intermoléculaires dites "liaison hydrogène" : chaque atome d'hydrogène d'une molécule d'eau est attiré par les électrons libres de l'atome d'oxygène (de polarité opposée) de la molécule voisine. Suivant le type de glace, les tétraèdres élémentaires s'organisent en diverses structures cristallines, la plus commune étant la forme hexagonale (glace). Cette symétrie se retrouve dans les cristaux de neige sous forme d'une grande variété d'étoiles hexagonales (Degrémont, 2005).

I.1.3. Forme liquide : à partir de la constitution caverneuse de la glace : à mesure que la température augmente, les "creux" se remplissent progressivement de molécules d'eau interstitielles, jusqu'à effondrement complet de la structure cristalline après fusion; dans l'eau liquide, le modèle structural de base tétraédrique est encore analogue à celui de la glace, mais les petits agrégats de molécules liées sont mélangés avec des molécules libres, qui les remplacent progressivement au fur et à mesure que la température croît, jusqu'au point d'ébullition où toutes les molécules d'eau deviennent libres en phase vapeur (Degrémont, 2005).

I.2. Propriétés physiques de l'eau

I.2.1. Masse volumique

Par tassement progressif de l'édifice moléculaire, la masse volumique varie avec la température et la pression. Pour l'eau pure sous pression atmosphérique, par un maximum à environ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (plus exactement $3,982\text{ }^{\circ}\text{C}$), sa variation en fonction de la température est la suivante (tableau I-1):

Tableau I-1 : Masse volumique de l'eau en fonction de la température (Degrémont, 2005).

T $^{\circ}\text{C}$	Masse volumique Kg.dm $^{-3}$	T $^{\circ}\text{C}$	Masse volumique Kg.dm $^{-3}$
0	0,999 839	20	0,998 204
4	0,999 972	25	0,997 045
10	0,999 699	30	0,995 647
15	0,999 099	100	0,958 365

I.2.2. viscosité

C'est la propriété que présente un fluide (liquide ou gaz) d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (turbulence), soit globaux (écoulement). Cette résistance est due aux frottements réciproques des molécules en mouvement. Elle est à la base des pertes d'énergie cinétique (pertes de charge) et joue donc un rôle important en traitement d'eau.

I.3. Propriétés électriques

I.3.1. Constante diélectrique

La constante diélectrique de l'eau, de l'ordre de 80 farads stéradian par mètre, est l'une des plus élevées que l'on connaisse; raison pour laquelle l'eau possède un pouvoir ionisant très-important.

I.3.2. Conductivité électrique de l'eau

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est 4,2 micro siemens par mètre à 20 °C (correspondant à une résistivité de 23,8 mégohms-centimètres). Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température.

I.4. Propriétés optiques

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile du point de vue physique et biologique, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse. Cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaines formes de pollution et, en conséquence, l'efficacité du traitement d'épuration; de même, elle conditionne l'emploi des ultraviolets en désinfection.

I.5. Solubilité des substances chimiques dans l'eau

I.5.1. Solubilité des gaz

La solubilité des gaz dans l'eau obéit aux lois de Henry. A titre d'exemple, la solubilité des principaux gaz à 10 °C sous une pression de gaz pur égale à 101,325 kpa (1 bar), est représentée (tableau I-2). Les molécules fortement polaires (CO₂, H₂S) ont une solubilité dans l'eau coup plus importante que les autres gaz. L'oxygène étant plus soluble que l'azote, les gaz dissous extraits d'une eau sont plus riches en oxygène que l'atmosphère avec laquelle l'eau était en équilibre (Degrémont, 2005).

Tableau I-2 : Solubilité des substances chimiques dans l'eau

Gaz	Solubilité à 10 °C mg.l ⁻¹
N ₂	23,2
O ₂	54,3
CO ₂	2318
H ₂ S	5112
CH ₄	32,5
H ₂	1,6

I.5.2. Solubilité des liquides:

La molécule d'eau étant polaire, la solubilité d'un liquide dans l'eau dépend de la polarité des molécules du liquide considéré. Par exemple, les molécules qui comprennent des groupes fonctionnels OH (les alcools, les sucres), SH, NH₂, étant très polaires, sont très solubles dans l'eau alors que d'autres liquides (les hydrocarbures, le tétrachlorure de carbone, les huiles et les graisses...), non polaires, sont très peu solubles.

Il peut y avoir miscibilité partielle : par exemple, une substance n'est miscible en toutes proportions avec l'eau qu'au-dessus d'une température critique (température supérieure à 63,5 °C pour le mélange eau-phénol), ou au-dessous d'une limite inférieure (la triméthylamine n'est soluble en toutes proportions qu'en dessous de 18,5 °C), ou entre deux températures critiques (le système eau-nicotine).

I.5.3. Solubilité des solides

L'eau présente un exceptionnel pouvoir de dissolution des sels minéraux. Sa solubilité dépend de la température. Par exemple à 10 °C, la dissolution des composés ioniques ou polaires opère par association des molécules d'eau avec les cations *via* l'atome d'oxygène et avec les anions *via* l'atome d'hydrogène. La solubilité augmente lorsque le pouvoir polarisant de l'ion, défini par le rapport de sa charge sur le carré du rayon, (cas des sulfates de magnésium et de calcium, cas de la soude et du chlorure de sodium) (Tableau 3).

Tableau I.3 : Solubilité des sels minéraux

Gaz	Solubilité g . (100g) ⁻¹ de solution
CaCl ₂	39,19
CaSO ₄	0,191
MgSO ₄	21,7
NaCl	26,32
NaOH	39
Na ₂ CO ₃	10,8

I.3. Le cycle hydrologique

Le cycle hydrologique est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur terre. Cette définition implique que les mécanismes régissant le cycle hydrologique ne surviennent pas seulement les uns à la suite des autres, mais sont aussi concomitants. Le cycle hydrologique n'a donc ni commencement, ni fin.

Le cycle de l'eau est sujet à des processus complexes et variés parmi lesquels nous citerons les précipitations, l'évaporation, la transpiration (des végétaux), l'interception, le ruissellement, l'infiltration, la percolation, l'emmagasinement et les écoulements. Ces divers mécanismes sont rendue possibles par un élément moteur, le soleil, organe vital du cycle hydrologique (figure I-1).

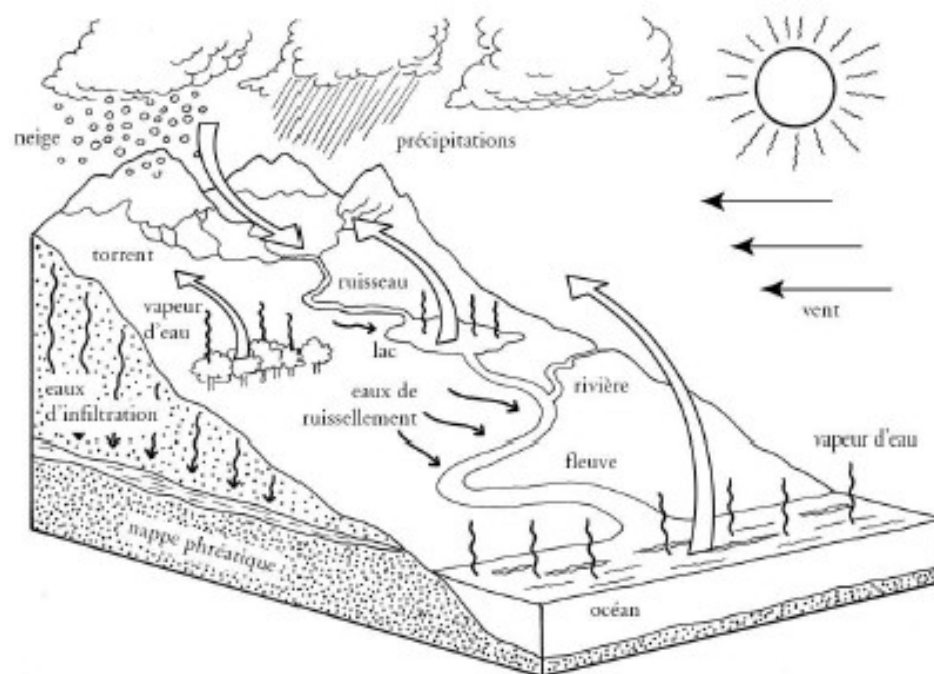


Figure I-1 : Le cycle hydrologique (Meyer, 2010).

I.7. Gestion des ressources en eau

Les régions arides et semi-arides sont soumises d'une part à une demande en eau grandissante, et d'autre part à une baisse de la disponibilité de la ressource. Les solutions pour répondre à cette problématique suivent deux axes :

- 1/ soit un développement des infrastructures permettant une augmentation de la production de la ressource (forages plus profonds, désalinisation d'eau de mer, développement des stations d'épuration...);
- 2/ soit une meilleure gestion de la ressource disponible, une réduction des pertes lors du transport, une utilisation optimale lors des usages domestiques, et surtout une optimisation de l'usage de l'eau dans la production agricole.

Cette dernière solution nécessite de faire appel aux connaissances scientifiques et académiques récentes, ainsi qu'aux nouvelles technologies disponibles et/ou en cours de développement. En effet, la quantification de l'usage de l'eau pour les cultures nécessite de connaître la quantité d'eau perdue par la végétation ou par les terres agricoles par échange avec l'atmosphère.

I.8. Hydrologie des surfaces continentales africaines

La forte disparité de cumuls pluviométriques entre le Sahel et la région équatoriale est atténuée par la présence de grands cours d'eau régulant la distribution de l'eau en surface (Le Lay, 2006). Plusieurs auteurs ont montré le lien entre la forte variabilité pluviométrique et la variabilité conjointe des ressources en eau. Le déficit pluviométrique de 10 à 30 % de la période 1970-2000 a entraîné un déficit dans le débit des cours d'eau de 40 % (Paturel et al., 2003).

Cependant, des études ont également montré que les impacts du régime pluviométrique sur les ressources en eau dépendaient fortement des échelles considérées, des processus d'écoulement dominants, ainsi que des conditions de surface (Séguis et al., 2004; Mahé et al, 2005). Entre autres, le rôle joué par l'anthropisation a été mis en relief pour son action sur la modification des conditions d'écoulement (ruissellement ou infiltration) des eaux de pluies. (Okechukwu, 2009)

I.9. Hydrologie du Nord Algérien

L'Algérie septentrionale présente un climat semi-aride qui se caractérise par une forte irrégularité pluviométrique. D'une manière générale, les bassins versants sont imperméables (ANRH, 2012). Ce qui donne sur le plan des régimes hydrologiques:

- une extrême irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements qui est accentuée par de longues périodes de sécheresse ;
- des crues violentes et rapides ;
- une érosion intense et des transports solides importants.

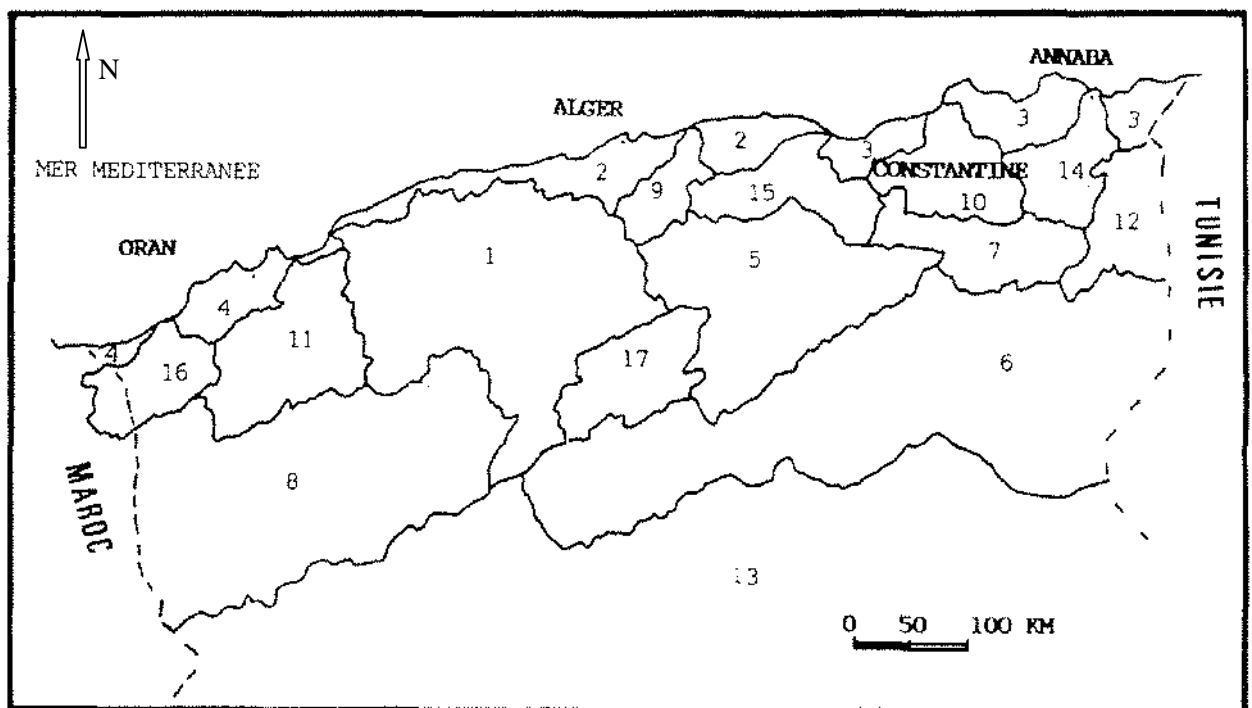
L'Algérie compte 17 bassins-versants (Figure I-2). Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants. L'utilisation de l'eau est liée aux activités économiques. La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Les instruments de gestion sont un outil indispensable pour l'organisation des institutions juridiques, économiques et administratives de ladite gestion (Cassegrain et Margat, 1979).

Les bassins versants sont regroupés en trois zones :

-Les bassins tributaires de la Méditerranée situés au nord de l'Algérie ont un apport moyen annuel estimé à 11 milliards de m³.

-Les bassins endoréiques occupant les Hautes Plaines dont les eaux se perdent en grande partie par évaporation dans les chotts. L'écoulement annuel moyen est estimé à 70 millions de m³.

-Les bassins sahariens apportent en moyenne 650 hm³ par an. L'écart pluviométrique moyen montre un déficit accentué d'Est en Ouest (Alili, 1993). L'Est algérien est la partie la plus humide avec une moyenne pluviométrique de, 530 mm par an. Le Centre occupe la seconde place avec 480 mm. Enfin, l'Ouest est plus sec avec une moyenne annuelle de 260 mm (ANRH, 2012).



1	Chelif	10	Kebir Rhumel
2	Côtiens Algerois	11	Macta
3	Côtiens Constantinois	12	Medjerdah
4	Côtiens Oranais	13	Sahara
5	Chott Hodna	14	Seybouse
6	Chott Melrhir	15	Soummam
7	Hautes plaines constantinois	16	Tafna
8	Hauts Plateaux Oranais	17	Zahrez
9	Isser		

Figure I-2: les bassins versants en Algérie : les chiffres représentent les bassins et leurs noms géographiques (ANRH, 2012).

II) Géologie de la région

Introduction

La géologie est une discipline de base servant à définir des formations susceptibles d'être aquifère. La base principale de toute étude hydrogéologique est la géologie, elle détermine les formations susceptibles ou non de former des aquifères à partir de leur lithologie; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

Les informations géologiques sur la région d'étude sont inspirées des travaux et études régionaux et des synthèses sur le massif des Aurès, sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentaire et structurales (Guiraud, 1973).

Par manque de documents sur la partie sud de Djebel Djahfa, on s'est basé uniquement sur la partie nord de la plaine de Kenchela.

II.1. Géologie de l'Atlas saharien

L'atlas saharien est un sillon mésozoïque qui s'était formé à la périphérie Sud de la plate forme épi hercynienne, sa structure tectonique actuelle due au plissement alpin se distingue du point de vue géographique d'Est en Ouest par le mont Nememcha, les Aurès, mont de M'zab, djbel Boukahil, mont de oueld Nail, djbel Amour, mont de Ksour et djebel Grous. Son évolution au cours du Secondaire et au Tertiaire comprend plusieurs épisodes (Kadik, 1987).

Dans l'Atlas saharien, les sédiments mésozoïques sont affectés de plis irréguliers Est-Ouest de style jurassien. Débutant à l'ouest par le grand atlas marcaïn, ces chaînes sahariennes forment partout la lisière du grand Sahara, puis elles obliquent vers le Nord et s'épanouissent en Tunisie.

Dans l'atlas saharien : les eaux peu profondes chargées de débris terrigrés subcontinentaux. Dans cette zone c'est seulement à l'aptien que s'est faite la transgression marine et un albien marin puissant de 200 m, est commun jusque dans les Aurès (Kadik, 1987).

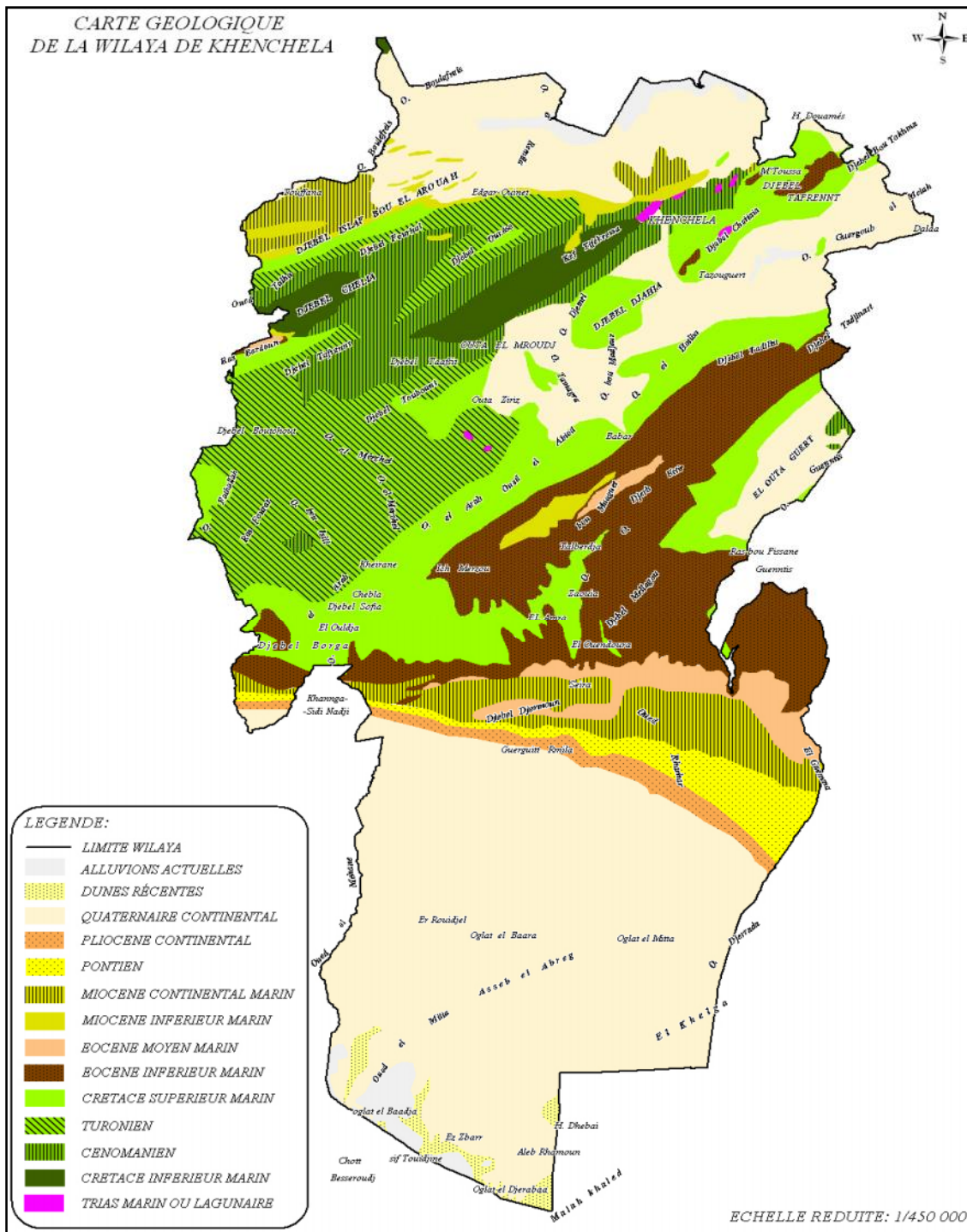


Figure I.3: Carte géologique de la Wilaya de Khencchela (Conservation Forêts, 2012)

II.2. Lithostratigraphie

L'étude lithostratigraphique des différentes formations affleurant dans la région étudiée ont des âges allant du quaternaire au Trias, et l'interprétation des logs stratigraphique des forages ont montré les différentes formations qui pourraient être favorables au développement des sources naturelles.

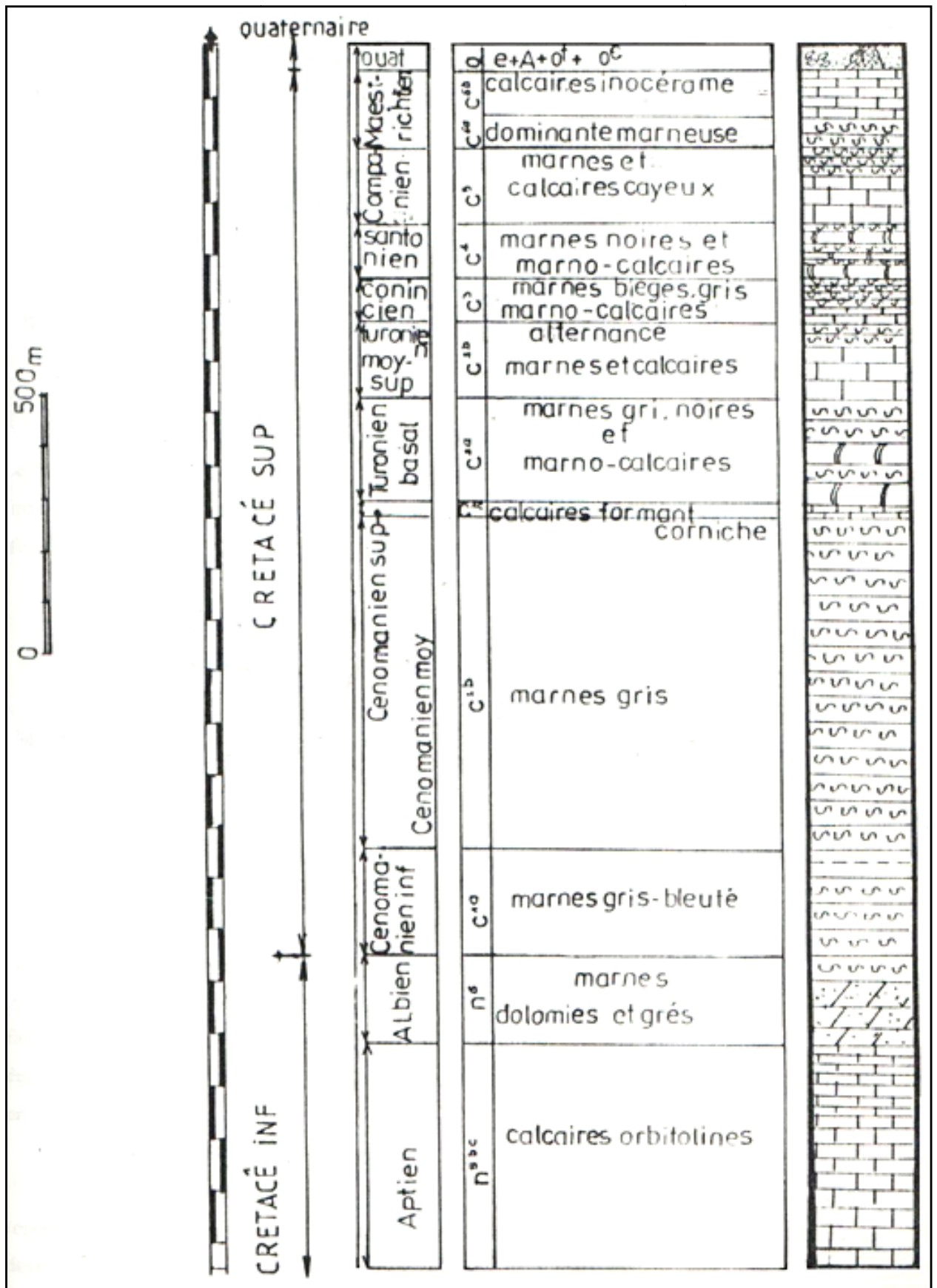


Figure I-4: La lithostratigraphie de la zone d'étude (Djelloul et al., 1995).
II.2.1. Le Quaternaire

Les formations récentes sont aussi largement répandues à la périphérie des Aurès et rares dans le centre du massif ; elles sont représentés uniquement par des éboulis et des terrasses, tandis qu'ils forment en périphérie de larges et d'épaisses nappes alluviales.

Les dépôts quaternaires recouvrent la majeure partie des plaines, ce sont des éboulis à blocs, alluvions récentes ou actuelles, terres arables, alluvions anciennes, glacis polygéniques nappant les reliefs et des croûtes calcaires.

Les dépôts du quaternaire sont tous d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces dans notre région, principalement dans les plaines et aux pieds des montagnes, il s'agit des :

II.2.1.1. Les éboulis

Les éboulis s'installent aux pieds des corniches calcaires gréseuses qui alimentent de vastes nappes d'éboulis pour la plupart peu actifs, sauf à leur partie supérieure (Notice Explicative, 1977).

II.2.1.2. Les alluvions récente ou actuelle

Ce sont des sables, des graviers et des limons gris avec de gros galets émoussés, calcaires ou gréseux (Notice Explicative, 1977).

II.2.1.3. Les glacis polygéniques nappant les reliefs

Ces glacis recouvrent de très vastes surfaces, et leur organisation est de pente douce et tout à fait caractéristique. Ils ravinement le cycle antérieur du glaciaire. Facile à reconnaître. Il est également caractérisé par des croûtes massives. C'est un nappage complexe à débris bien calibrés, par fois en croûtes (Notice Explicative, 1977).

II.2.1.4. Villafranchien

C'est une formation perchée par rapport aux surfaces précédentes, elle est très facile à repérer.

L'aspect le plus fréquemment reconnaissable est celui de la croûte massive qui est développée au dessus d'horizons tuffacés surmontant eux même niveaux à poupees calcaires (Notice Explicative, 1977).

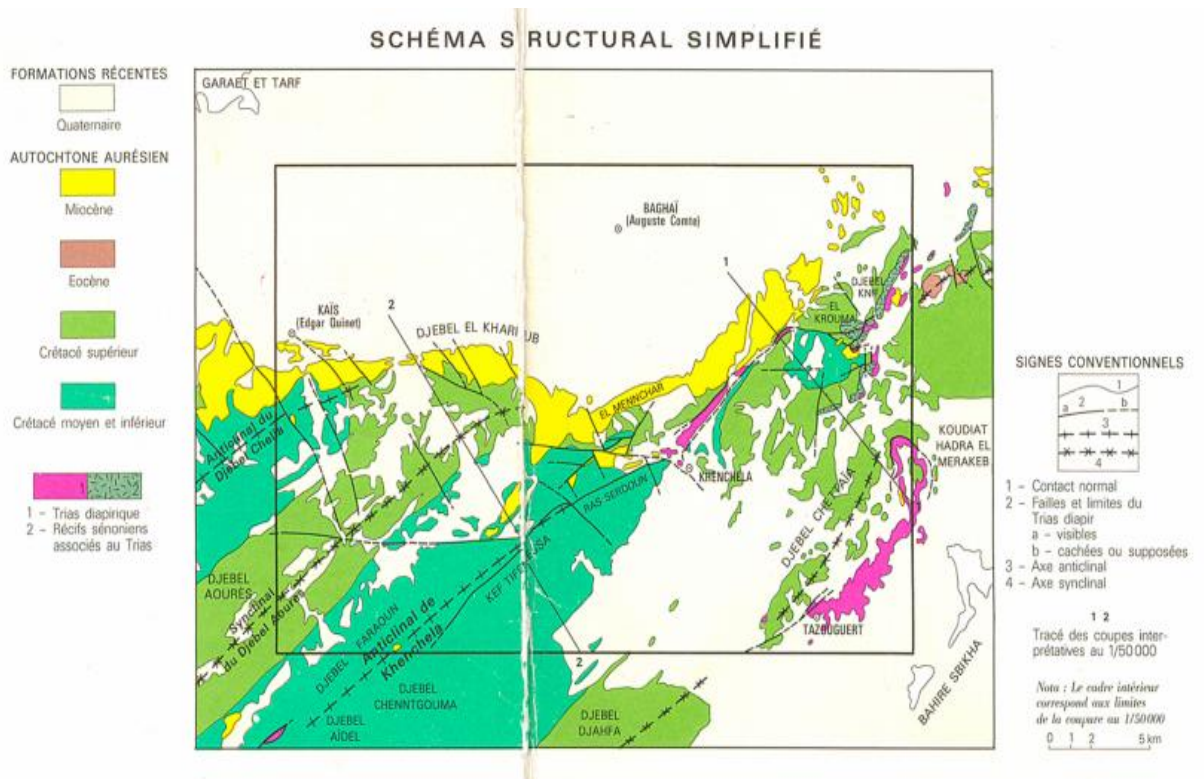


Figure I-5: schéma structural de la carte géologique de Khenchela (DHK, 2012 Modifiée)

II.2.2. Le Miocène

Cette formation est complètement recouverte par des quaternaires, elle est discordante sur le Cénomaniens. Il s'agit des argiles rouges et de poudingues à gros éléments arrondies et de marne noire ; marne bleue, l'épaisseur a été obtenue à partir des données géophysique et du forage, son épaisseur est d'environ 150 m (Djelloul et al., 1995).

II.2.2.1. Le Tortonien supérieur

Cette série argilo-silteuse repose probablement en concordance sur le Tortonien gréseux. 150 m au maximum sont ici visibles. Ces terrains contiennent des niveaux gréseux friables, ferrugineux, à bios flottés et rares dragées de quartz (diamètre de 0,5 cm environ) et sont corrélés avec le Tortonien supérieur continental plus occidental (Notice Explicative, 1977).

II.2.2.2. Le Tortonien gréseux blanc

Cette formation est discordante et peut reposer directement sur des termes allant du Sénonien à l'Albien (secteur du Djebel El Krouma). Elle est composée de grès blancs grossiers en bancs plurimétrique, à abondantes dragées de Quartz (diamètre allant jusqu'à 2 cm). La disposition en

chenaux hectométriques est fréquente. De rares intercalations argileuses existent (Notice Explicative, 1977).

II.2.2.3. Le Langhien-serravalien

Cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud du Djebel Knif et à l'Est du Djebel Chettaia ou il repose directement en transgressio sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifekressa et du Ras Serdoun.

Cet ensemble est caractérisé essentiellement par les marnes, biomicrites, biomicrosparites et grès blanc (Notice Explicative, 1977).

II.2.2.4. L'Aquitano-Burdigalien

Il s'agit d'argiles rouges, d'argiles silteuses rouges et de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires, de quartziteux à ciment ferrugineux (conglomérats rouges) (Notice Explicative, 1977).

II.2.3. Le Crétacé

Le Crétacé a été subdivisé par Laffite (1939) en Crétacé inférieur ou série gréseuse (du Berriasien à l'Albien) et en Crétacé supérieur ou série marno-calcaires (du Cénomaniens au Maestrichtien).

Les formations crétacées présentent une masse énorme de, de marno-calcaire et de marne qui s'allonge depuis les plis de Khenchela, suivant la direction NE-SW.

II.2.3.1. Le Crétacé supérieur

Il occupe une grande superficie à l'affleurement dans les Aurès et forme l'essentiel des affleurements Mésozoïques dans les confins des Aurès.

a. Le Maestrichtien

Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé en:

a.1. Le Maestrichtien supérieur

C'est une assise constante et homogène de calcaires massifs blanchâtre grumeleux en banc décimétriques ou métrique à large stratification oblique.

Les couches de base en banc décimétriques contiennent des nodules de silex, l'épaisseur de ces formations ne dépasse pas 95 m (Notice Explicative, 1977).

a.2. Le Maestrichtien inferieur

Il est constitué par une quarantaine de mètres, avec alternance de marnes gris beige à débris de mollusques et calcaires au dessus du développement de 150 m de marne noires à micro forme (Notice Explicative, 1977).

b. Le Campanien

Le Campanien comporte à sa base une barre de calcaires crayeux de 65 m en bancs décimétriques ou métriques à fine épaisseur de grès noir, bien visible dans cette région (Notice Explicative, 1977).

c. Le Santonien

Le Santonien ne montre plus que 100 m de marne noires, avec à la base un banc marno-calcaire crayeux d'épaisseur 0,5 m (Notice Explicative, 1977).

d. Le Coniacien

Cette série présente des alternances de marne beiges ou gris et de calcaires gris, bio détritiques et grumeleux (Notice Explicative, 1977).

e. Le Turonien

e.1. Le Turonien moyen et supérieur

Ce sont des alternances de marnes gris beiges et calcaires zoogènes noduleux en barres décimétriques ou métriques, leur épaisseur est d'environ 150 m (Notice Explicative, 1977).

e.2. Le Turonien basal

La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaires blanchâtre en plaquettes fines à cassures noirâtre bitumineuses.

Au dessus de 200 m de marnes gris ou noires montrant des intercalations de marno-calcaires zoogène ou des marno-calcaires blanchâtres à cassures noirâtres en bancs décimétriques (Notice Explicative, 1977).

f. Le Cénomaniien

Le Cénomaniien composé par une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises, vertes ou ocre, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses.

Une série terminale constituée de marnes et de calcaires formant une corniche dont la proportion augmente vers le sommet.

Le Cénomaniens est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès (figure 4). Il est essentiellement marno-calcaires. La partie inférieure est surtout marneuse. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais. L'épaisseur de cette formation est très variable, elle peut atteindre 500 à 600 mètres au cœur de l'Aurès (Vila, 1980).

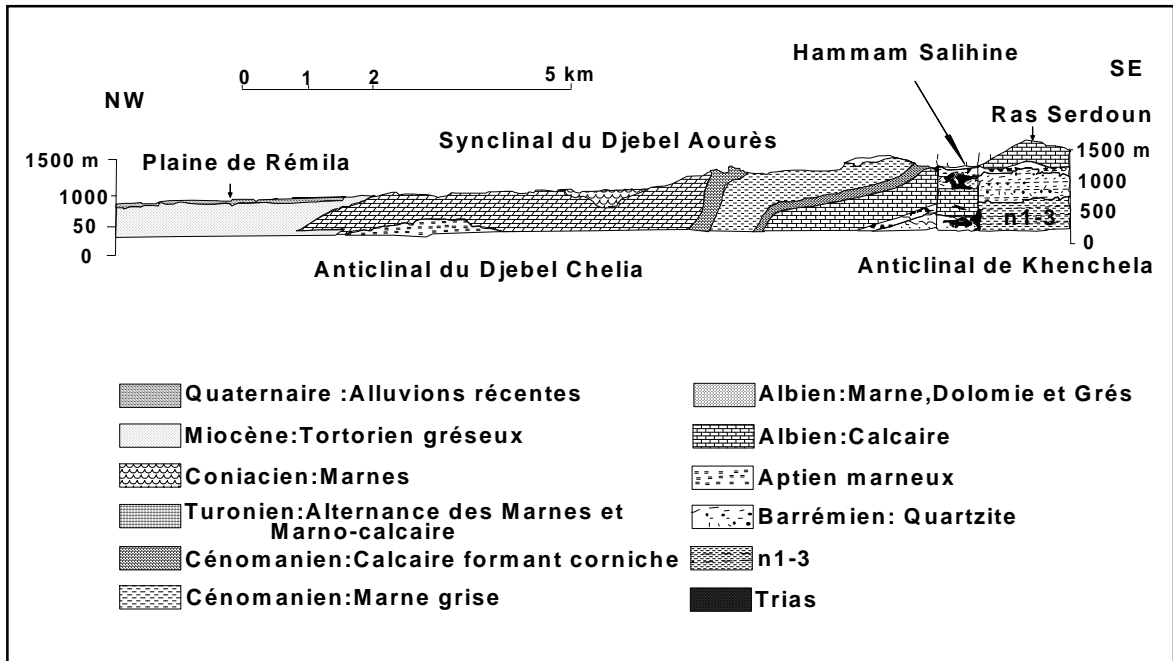


Figure I-6: coup interprétative de Ras Serdoun et de Djebel Aurès (Vila, 1980)

f.1. Le Cénomaniens supérieur

Il s'agit d'une barre d'épais bancs calcaires à pâte fine et à cassure écaillée, à aspect bitumineux et à films centimétriques de marnes gris bleue.

Au sommet, un niveau de nodules pyriteux y constitue un repère constant dans la région, cette barre atteint 30 m d'épaisseur (Notice Explicative, 1977).

f.2. Le Cénomaniens moyen

C'est une puissante formation qui débute par 650 m de marnes grises accompagnée sporadiquement de micrites gris blanchâtres. à fins tests de Lamellibranches et de Gastéropodes, Au dessus 120 m de marnes gris bleuté contiennent des biomicrites argileuses gris blanchâtre en bancs décimétriques (Notice Explicative, 1977).

f.3. Le Cénomaniens inférieur

Sur le flanc Nord-est de l'anticlinal de Khenchela, au dessus des derniers grès quartziteux du toit de l'Albien, on observe une centaine de mètres de marnes gris-bleuté accompagnées argileuses grises décimétrique parfois noduleuses (Notice Explicative, 1977).

2.3.2. Le Crétacé inférieur

Il couvre une grande partie des Anticlinaux du Djebel Chelia, Anticlinal de Khenchela, il affleure aussi au Kef Tifekressa, Ras Serdoun, Djebel Chenntgouma, Djebel Faraoun et Djebel Aidel.

a. L'Albien

Dans l'albien de bas en haut se succèdent :

- 70 m d'alternance de grès blancs fins, à ciment carbonaté réduit, parfois à tendance quartzique, en faisceaux décimétriques, et de biointramicrites gris-noir en bancs métriques à toit noduleux. Ces derrières contiennent des Orbitolines roulées interminables, des ostracodes, des fragments de mollusques.

- 60 m d'alternance de marnes gris beige, à biomicrites lumachelliques contenant des Orbitolines, de grès blancs fins.

- 30 m d'argiles gris-verdâtre devenant vite silteuses, accompagnées vers le haut de grès blancs décimétriques parfois quartziteux (Notice Explicative, 1977).

b. L'Aptien

Au-dessus des marnes de l'Aptien intérieur se succèdent de en haut :

-120 m d'oomicrites et d'oosparites gris-noir, en bancs plurimétriques, à intercalation de cacaires marneux gris-blanchâtre.

-10 m d'alternance de grès blancs friables et d'oosparites grises en bancs décimétriques.

-50 m d'alternance de biomicrites. Parfois d'oosparites et marnes grisbleuté.

-5 m de biosparites gréseuses en bancs décimétriques à débris de mollusques.

-120 m d'alternance de marnes grises et de biomicrudites associées parfois à des oomicrites bioclastiques gris-noir, en bancs décimétriques

-25 m de biomicrites grises (Notice Explicative, 1977).

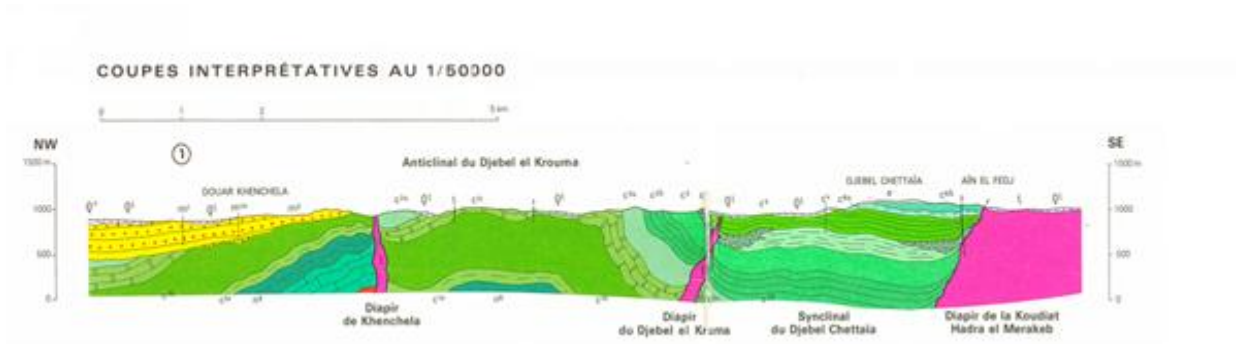


Figure I-7: coupe géologique 1 sur la carte géologique de Khenchela (DHK, 2012 Modifiée)

II.2.4. Le Trias

Le Trias affleure en masse chaotique sans aucune stratification. Dans ces masse, divers éléments sont reconnaissables constitué (cargneules jaunâtre, à dolomies noires et à gypse, gypse fibreux) (Notice Explicative, 1977).

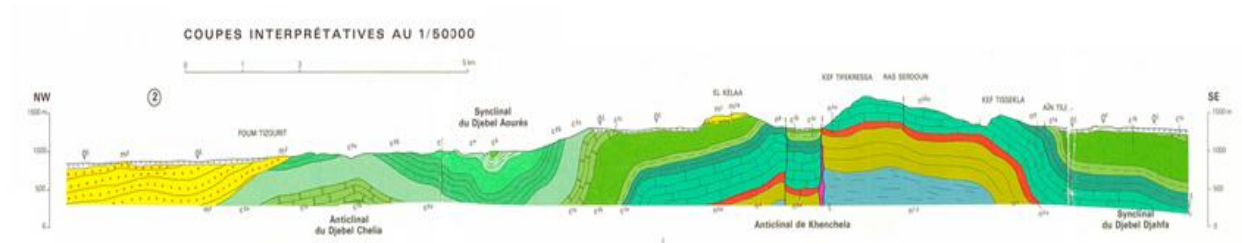


Figure I-8 : coupe géologique 2 sur la carte géologique de Khenchela (DHK, 2012 Modifiée)

Figure II-1 : Situation de la wilaya de khenchela (DPAT, 2011) (modifiée)

1.2. Situation administrative

La wilaya de Khenchela est issue de la refonte territoriale de 1984. Elle était rattachée entre 1977 et 1984 à trois wilayas différentes :

-Oum El Bouaghi pour l'ex daïra de Khenchela,

-Tébessa pour la daïra de Chechar,

-Batna pour la daïra de Kais.

Actuellement le territoire de la wilaya est constitué de 21 communes regroupées en huit (08) daïras (dont daïrate créées en 1990) (DPAT, 2012).

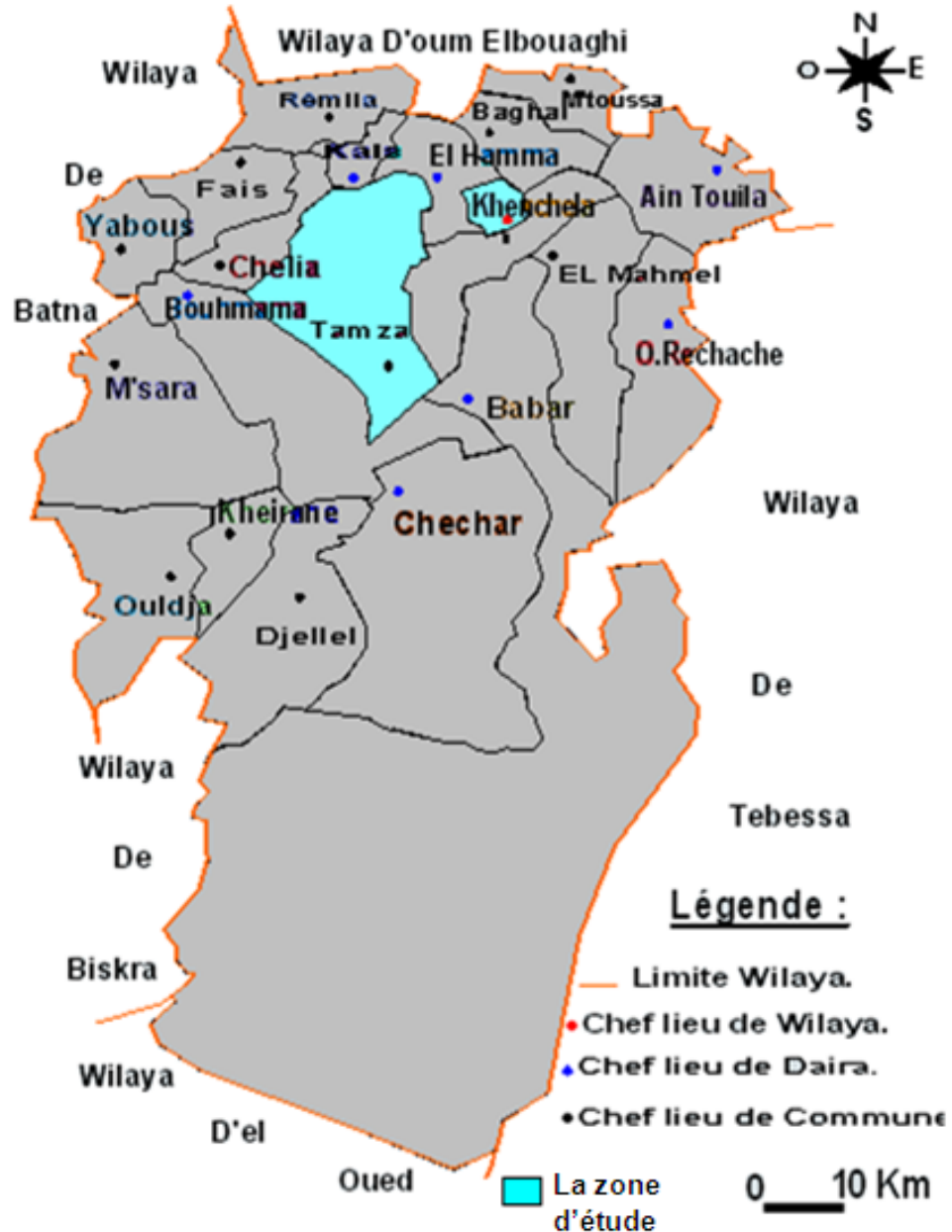


Figure II-2: carte administrative de la wilaya de khenchela (DPAT, 2012 modifié)

1.3. La zone d'étude

Les deux sources qui concernent cette étude sont :

- Ain Al Karma est une émergence naturelle qui date depuis l'époque coloniale suite à un aménagement réalisé par l'arrondissement colonial représenté par la commune de Khenchela. Elle est située piémont du Djebel Serdoun, au sein de l'agglomération de Ain Al karma, au sud ouest de la ville de Khenchela (Figure II-3), avec un débit de 3 à 5 litres / seconde (ADE, 2012).

- Ain Sfa, qui est rattachée à la commune de Tamza, est une source naturelle située à l'approche de Djebel Djahfa et Oued Djemri (Figure II-3), avec un débit de 4 litres / seconde (DHK, 2012).

a) Coordonnées spatiales de la zone d'étude

Les données de latitude, de longitude et d'altitude sont rassemblées dans le tableau II-1

Tableau II-1 : les coordonnées GPS des deux sources.

	Source de Ain Al Karma	Ain Sfa
Cordonnées GPS	N 35° 26' 07,6"	N 35° 20' 09,8"
	E 7° 08' 15,13"	E 007° 02' 17,9"
	altitude 1207 m	altitude 1224 m



Figure II-3 : photo satellitaire des deux sources par Google earth.

I.4. Le relief :

La wilaya de Khenchela possède un relief constitué de quatre (04) grands ensembles géographiques.

- **Les montagnes** : rencontrées essentiellement dans la zone Ouest de la wilaya (les Aurès), dans la zone centrale (les monts des Nememcha) et au Nord Est (Ain touila),

- **Les plateaux** : situés au Nord Est (plateau de Ouled Rechache), s'étendent sur les communes de Mahmel et de Ouled Rechache,

- **Les plaines** : situées au Nord et Nord Ouest de la wilaya, comprennent les plaines de Remila, Bouhmama et M'toussa. Il est à noter que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines,

- **Les parcours** steppiques et les dépressions : situés dans la partie méridionale de la wilaya, ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts. Ces derniers constituent le point de convergence exutoire des Oueds drainant le sud de la wilaya (DPAT, 2012).

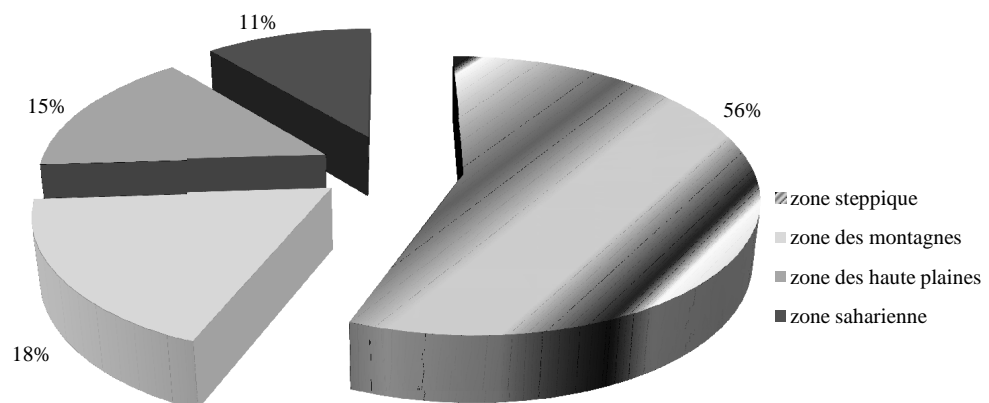
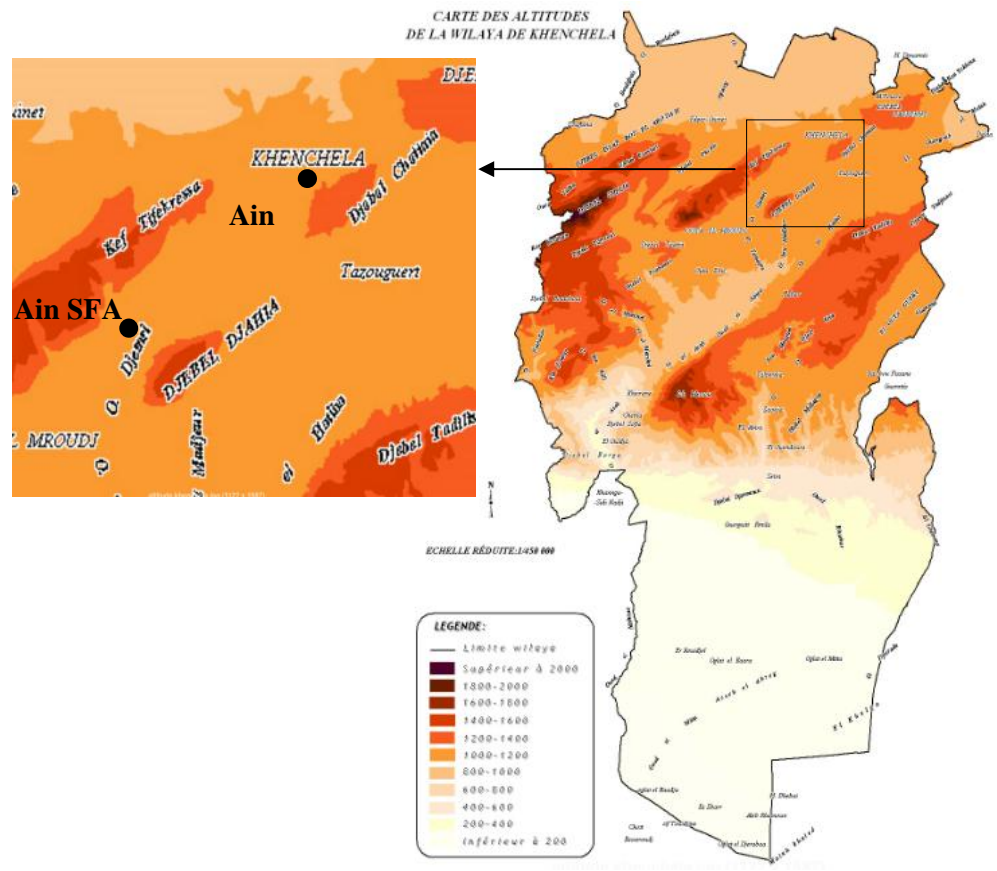


Figure II-4: Représentation graphique des grands ensembles de relief de la wilaya (DPAT, 2012)

La zone comprenant les deux sources de Ain Al Karma et de Ain Sfa est située sur les hautes plaines avec une altitude de 1000 m (Figure II-5).



Echelle : 1/45 000

Figure II-5 : carte de relief de la wilaya de khenchela (DPAT, 2012)

I.5. Aperçu géologique :

La wilaya de Khenchela est caractérisée par trois régions naturelles qui peuvent être distinguées de la façon suivante :

- au Nord : c'est le bassin miocène de Timgad et de Douffana. C'est une zone plate, steppique qui correspond à la bordure méridionale de la grande dépression de Garaat el Tarf.
- les parties occidentale et centrale de la wilaya constituent la terminaison périclinale Nord Est de la chaîne des Aurès, région caractérisée par les diapirs triasiques.
- la zone méridionale au Sud constitue les monts des Nememcha ; et plus au Sud, c'est une zone plate qui correspond à la bordure septentrionale du pays des chotts.

Du point de vue tectonique, le territoire de la wilaya est situé au Nord de la flexure Sud atlasique. Les reliefs montagneux sont très accidentés par des failles. On rencontre deux principales familles :

La première correspond aux plus grandes failles de direction Est-Ouest à Nord-Est et Sud-Ouest. La seconde, celle des plus petites failles et dont la direction est Nord-Ouest et Sud-Est. Ces deux types de failles sont verticaux.

Il est à noter aussi que les diapirs ou dômes triasiques empruntent généralement des zones de failles et de faible résistance pour remonter à la surface du sol et affleurer. Ces diapirs se rencontrent dans la partie orientale de la wilaya.

Du point de vue lithologique et pétrographique, on rencontre dans la wilaya des calcaires, des marnes, des argiles, du gypse, des sables, des grès et des conglomérats (Conservation des Forêts, 2012).

La zone contenant les deux sources concernées par l'étude est caractérisée par sa nature de calcaire et dolomies dures (Figure II-6).

I.6. Aperçu géomorphologie

Le territoire de la wilaya de kenchela est situé dans une zone de transition entre le domaine atlasique, assez plissé au nord et la plate forme saharienne au sud. Le contact entre ces deux domaines, nord et sud atlasique est très brutal ; et est marqué par un grand accident tectonique, appelé « flexure sud-atlasique ». Cet accident tectonique prend naissance au golfe de gabes (Tunisie) pour aboutir à Agadir (Maroc) en traversant l'Algérie et en affectant le sud de la Daïra de Chechar.

Dans la wilaya, on rencontre deux grands ensembles sédimentaires :

- un ensemble souple affecté par des plis ayant généralement une direction Sud Ouest et Nord Est ;
- un ensemble rigide affecté par des failles.

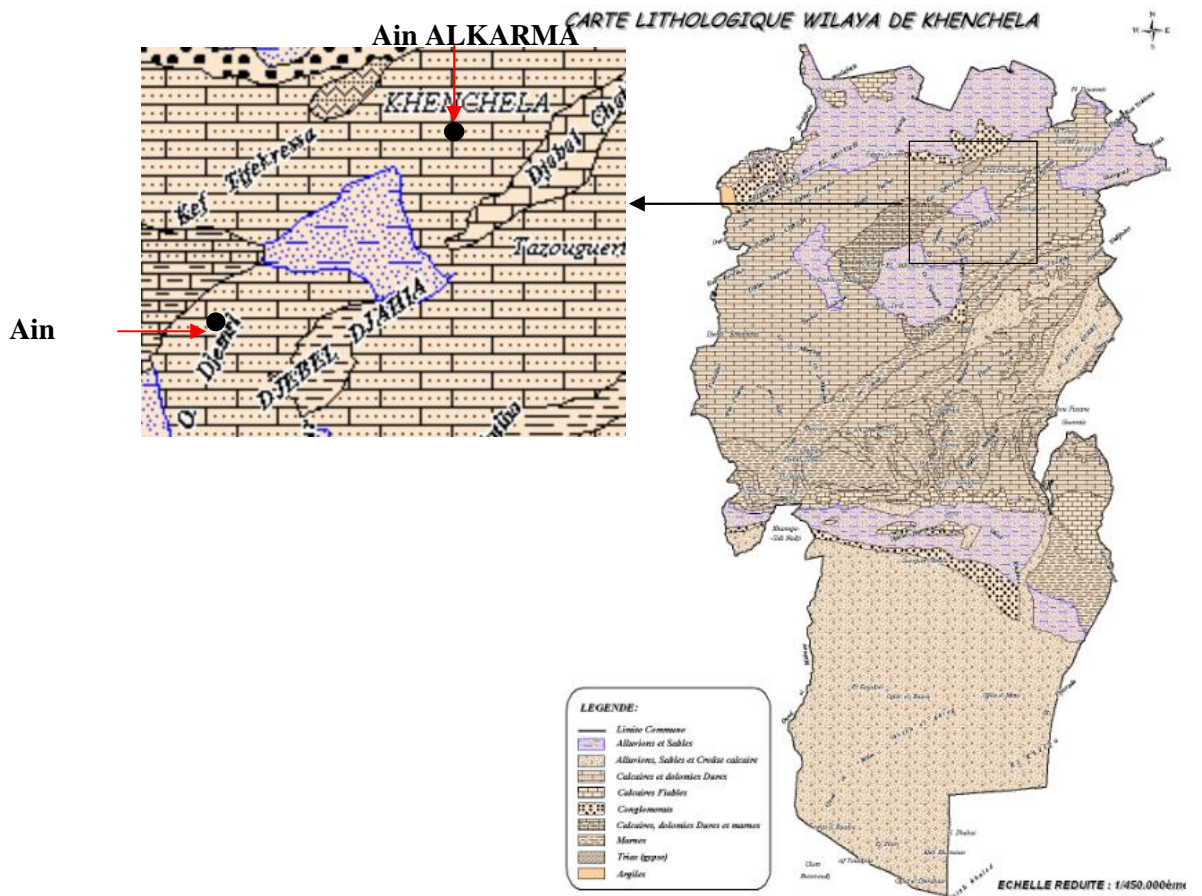


Figure II-6: Carte lithologique de la wilaya Khenchela (Conservation des Forêts, 2012) modifiée)

I.7. Réseau hydrographique

La wilaya est drainée par deux principaux drainages :

- L'un se dirigeant vers le nord pour se déverser généralement dans la dépression du Garraet El Tarf ; ce réseaux n'est pas important et influe faiblement dans la vie économique de la région.
- Et l'un qui est le plus important se dirigeant vers le sud pour se déverser dans le Chott Melghir est composé par trois bassins essentiels :
 - Bassin d'Oued El-Ma.

- Bassin d'Oued El-Arab.
- Bassin d'Oued Beni Barbé (Boubelli, 2009) (Figure II-7).

Les deux sources étudiées sont situées au nord de la wilaya.

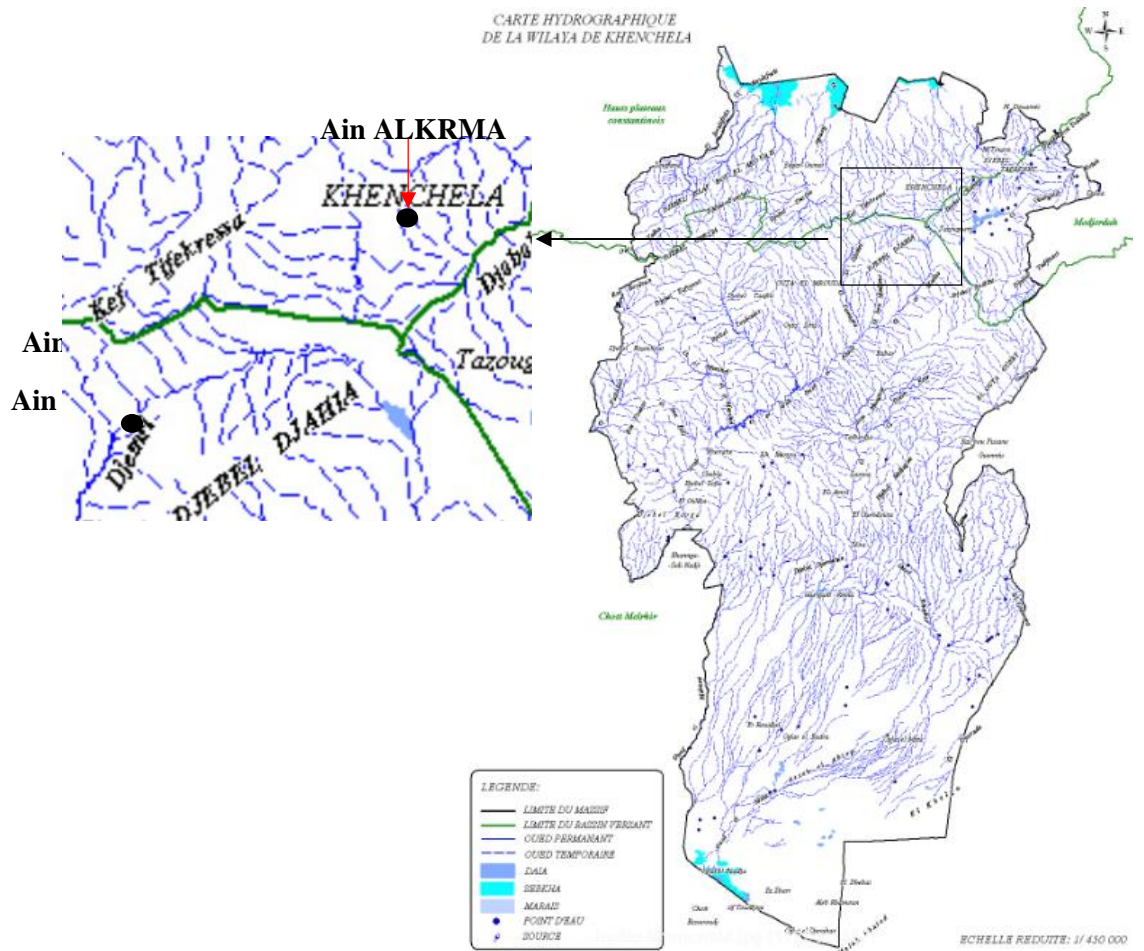


Figure II-7 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya (DHW, 2012) (modifiée).

I.8. Pédologie :

- Les sols de la wilaya sont en grande partie, pauvres et peu profonds à l'exception des plaines du nord où le sol est relativement plus profond.
- ainsi, et mis à part quelques rares endroits isolés où la roche mère affleure, on rencontre au niveau des hautes plaines du nord, là où le réseau hydrographique est très dense, des sols alluviaux profonds, de texture limoneuse ou argileuse. Ces sols peuvent porter des cultures très riches .
- La zone des piémonts est formée quant à elle, de sols calciques également très riches.
- Au niveau de la zone centrale montagneuse, on rencontre sur les monts des Aurès, des sols insaturés humifères (sols formés sur des roches non calcaires et perméables), des sols calcaires humifères (formés sur les roches mères calcifiées). La roche mère affleure en quelques rares endroits isolés.
- le plateau du Mahmel et la vallée de l'Oued El Arab sont formés de sols calciques ; la roche mère affleure uniquement sur les hauteurs.
- sur les monts des Nememcha et à l'exception d'une bande centrale de direction Nord Est/Sud Ouest formée de sols calciques, la roche mère affleure sur presque toute la sous-zone. Ceci explique le degré d'érosion atteint au niveau de cette région.

Quant à la zone sud de la wilaya, l'influence désertique sur les sols est apparente ainsi, et mis à part quelques hauteurs où la roche mère affleure, on rencontre des sols éoliens d'ablation (zone de parcours steppiques), des sols basiques (au pays de la céréaliculture par épandage de crues), et surtout des solontchaks (sols dont la teneur en Chlore est supérieure à 1,8 %) sur la majeure partie de la zone.

L'extrême sud de la wilaya se caractérise par des sols éoliens d'accumulation (dunes de sable) (DAPT, 2012).

I.8.1. Les classes de sols

I.8.1.1. Les sols calcaires humifères : rencontrés sur les monts et les prés monts des Aurès, à une altitude comprise entre 1000 et 1500 mètres.

I.8.1.2. Les sols insaturés humifères : ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès, sont occupés par des forêts.

I.8.1.3. Les sols calciques : ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur Kais et Remila. Ils s'étendent à l'est jusqu'à Ain Touila et au sud jusqu'à Babar en partant de kenchela.

I.8.1.4. Les sols éoliens d'ablation : ces sols sont rencontrés au sud de la wilaya, sur le piémont des monts Nememcha, dont l'altitude est située entre 200-500 mètres.

I.8.1.5. Les sols alluviaux basiques : ces sols sont localisés sur des zones de changement de pente, c'est-à-dire les zones où la pente devient plus douce, on les rencontre principalement dans les plaines entourant les dépressions (dépressions de Gurraet El Tarf, cuvette de bas Sahara, et la dépression de Tazougart), mais aussi au niveau des vallées encaissées de Babar, de Bouhmama et de la plaine de Guentis.

I.8.1.6. Les sols salins ou Solontchak : ces sols caractérisant les dépressions sont rencontrés au niveau des zones d'accumulation, ils sont le résultat d'une hydrologie à écoulement endoréique ou de la présence de roches triasiques (gypse : roche saline) (Ben Aroua et al, 2010).

Ainsi la classe des sols de la zone des deux sources est une classe des sols calciques (figure I-8)

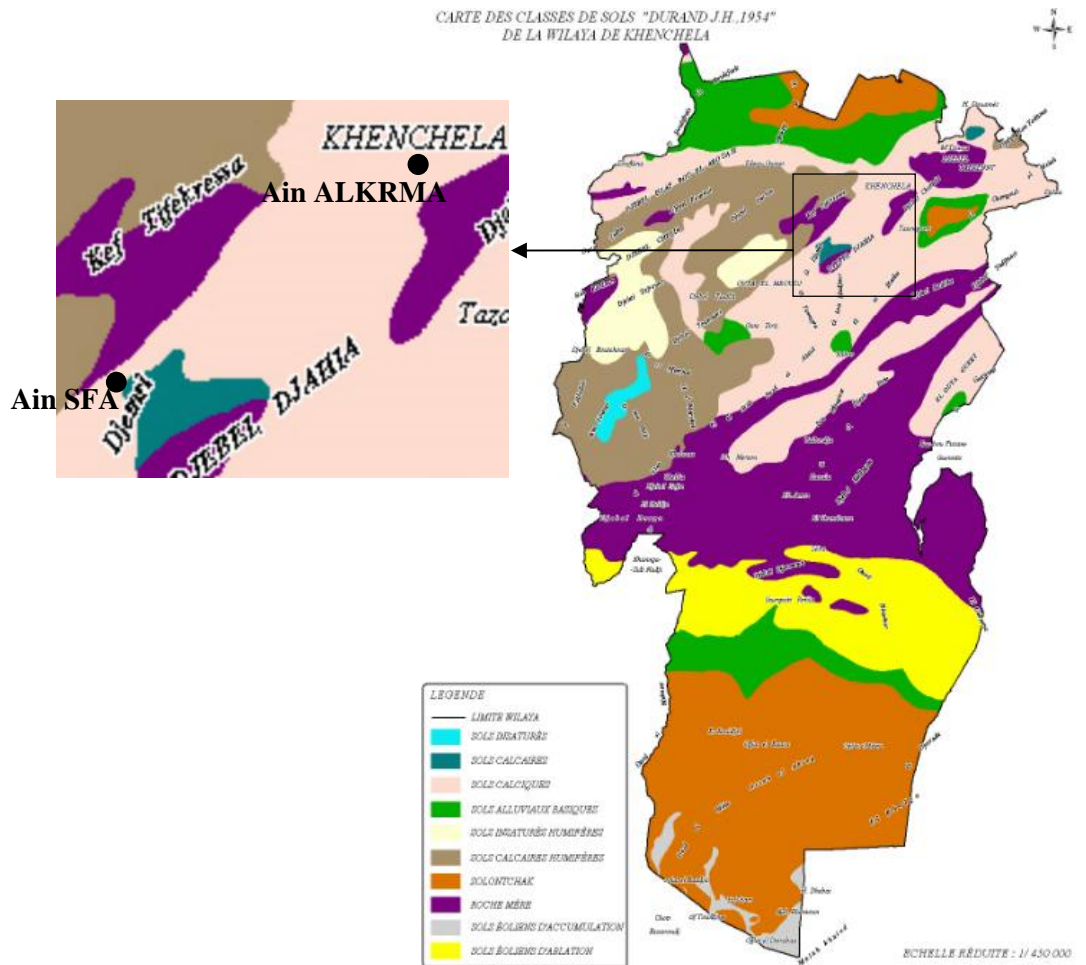


Figure II-8: carte des classes des sols de la wilaya de khencchela (CF, 2012 modifié)

I.9. Distribution des terres de la wilaya de khencchela

Les terres de la wilaya appartiennent à quatre grands types (Figure II-9) et qui sont :

I.9.1. Les parcours : avec 558.204 Ha c'est-à-dire 58 % de la superficie totale. Ils représentent la majorité des terres de la wilaya ; sont constituées essentiellement de parcours

à Alfa et de parcours steppiques à base d'armoise blanche, sparte, Psammophytes et des halophytes ainsi que des parcours sahariens.

Les terres de ces parcours sont soumises à une dégradation continue suite aux surpâturages, et aux défrichements pour la mise en cultures.

I.9.2. Les terres agricoles : Elles représentent 26 % de la superficie totale, soit 246.797 Ha. Et sont composées principalement de terres labourables (cultures herbacées et jachérées).

I.9.3. Les terres forestières : Ce sont des forêts proprement dites, maquis et reboisement. Elles couvrent 15 % des terres de la wilaya ce qui représente 146.303 Ha

I.9.4. Les terres improductives : sont insignifiantes avec une surface de 5288 Ha soit 1%.

Donc la wilaya de Khenchela est de typologie « Agro-Sylvo-Pastorale » (Conservation des Forêts, 2012).

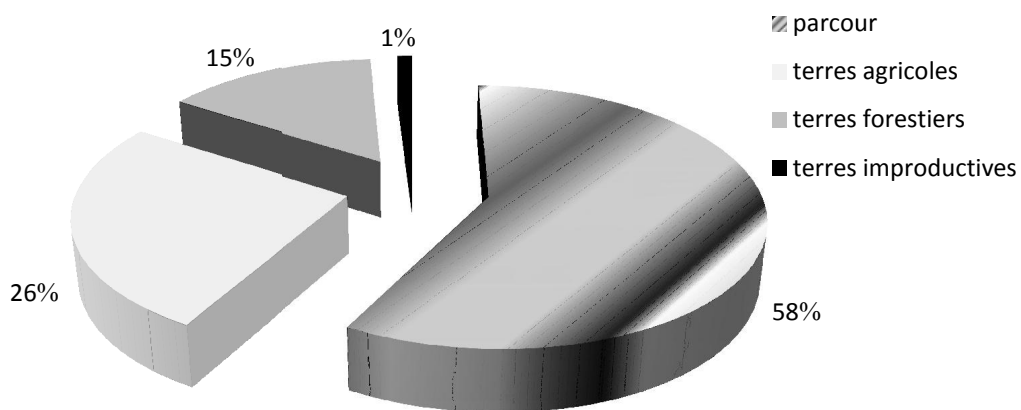


Figure II-9: Représentation graphique des terres de khenchela (CF, 2012)

D'après la carte de l'occupation des sols de la wilaya de Khenchela, les deux sources sont situées dans les terres de culture (agricoles).

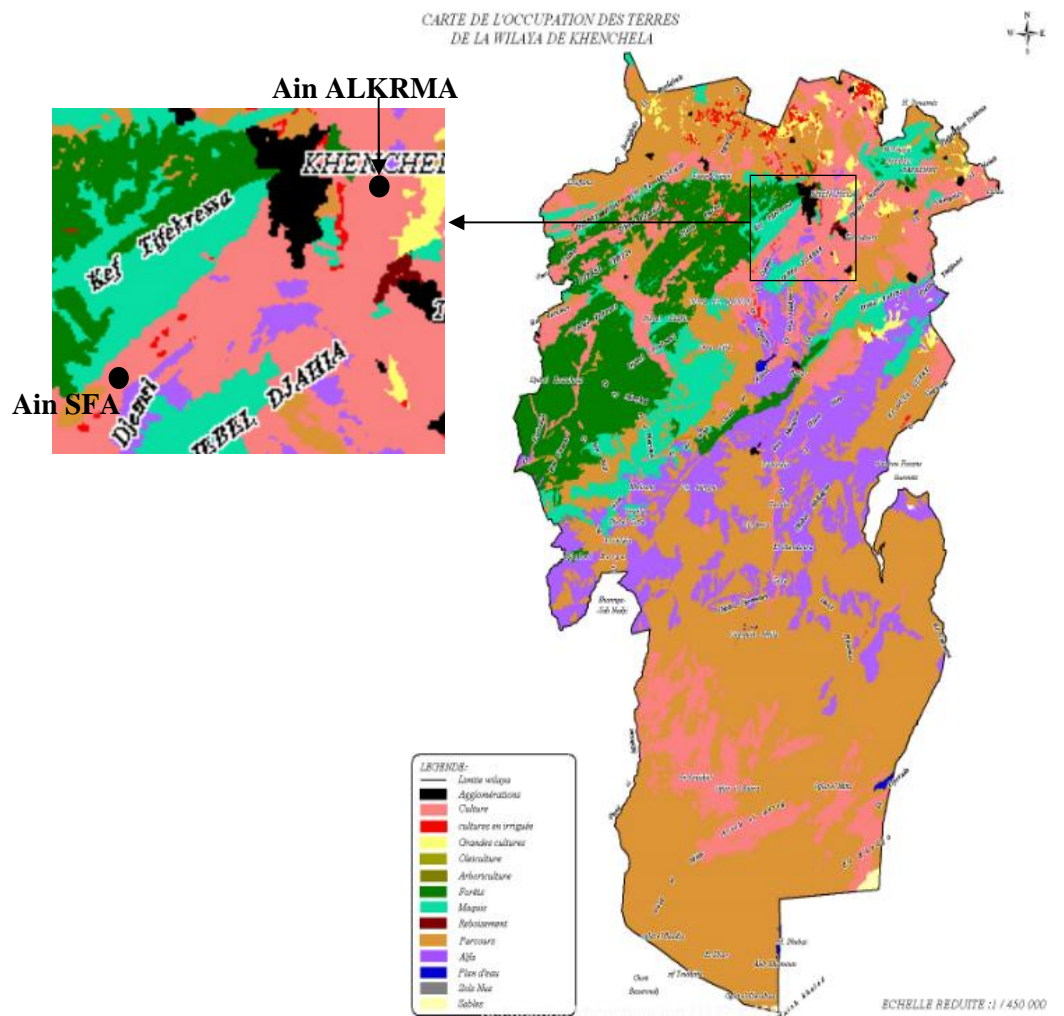


Figure II-10: Carte représentatif des terres de la wilaya de khenchela (Conservation des Forêts, 2012) (modifiée)

III) Matériels et méthodes

Introduction

Ce travail est consacré à l'étude de la qualité de deux sources naturelles dans la wilaya de Khenchela; la première Ain Al Karma se situant sur le territoire de la commune de Khenchela et la seconde, Ain Sfa localisée dans la commune de Tamza. Pour cela, des analyses physico-chimique ont été nécessaires. Dans ce chapitre, nous allons présenter les prélèvements effectués et les différentes méthodes et matériels utilisés.

Les analyses au laboratoire concernant les paramètres chimiques (cations et anions) ont été effectuées au niveau du laboratoire LACILAP à Ain M'lila, avec l'aide de Mr BEKHA El Hani, (MAT, SETI).

III.1. Prélèvement

Le prélèvement a eu lieu le 08 juin 2012.

Les échantillons d'eau destinés aux analyses physico-chimiques sont prélevés dans des flacons en polyéthylènes stériles et bien rincés.



Figure II-25: mesure des paramètres physiques in situ (Ain ALKARMA)

Le matériel utilisé dans ce prélèvement est une série de bouteilles d'échantillonnage, une glacière et un multi paramètres à 6 paramètres C 535 T.



Figure II-26: mesure des paramètres physiques sur site (Ain Sfa)

III.2. Paramètres mesurés sur site

III.2.1. La température

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, car elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz. La dissociation des sels dissous influe sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et de leur origine (Leclerc, 1996).

La mesure de la température est effectuée sur terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètres. La lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (Rodier, 1996).

III.2.1.1. Mode opératoire

Prélever l'eau dans un flacon après l'avoir rincé avec l'eau à échantillonner. Insérer la cathode du MULTI PARAMETRES à 6 paramètres C 535 T, puis noter la mesure le plus vite possible. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau permutée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées. Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique avec celle du liquide ambiant. Introduire alors le thermomètre aussi près que possible de la cellule. Opérer de préférence à la température de référence de 25 °C. La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure. L'utilisation du bain thermostaté facilite l'équilibre thermique et améliore les résultats de la mesure.

Remarques

- Le même mode opératoire est réalisé pour les mesures du pH, de la conductivité électrique et de la salinité.
- De façon générale, il faut manipuler avec de la verrerie rigoureusement propre et rincée avant usage, avec de l'eau permutée.

III.2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

L'eau renferme des ions H^+ libres, qui ne sont pas combinés pour donner des molécules de liquides, le taux de concentration en ions H^+ mesure le potentiel hydrogène (en abrégé pH) du milieu. Ce paramètre exprime l'activité des ions H^+ d'une solution, c'est-à-dire son alcalinité ou acidité. L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique :

Pour un milieu neutre $(H^+) = (OH^-)$ ou $pH = 7$;

Pour un milieu acide $(H^+) > (OH^-)$ ou $pH < 7$;

Pour un milieu basique $(H^+) < (OH^-)$ ou $7 < pH < 14$ (Rodier, 2009)

III.2.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau () est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (), et s'exprime par la relation suivante :

$$\sigma = \frac{1}{R} = \frac{1}{L} \times \frac{L}{S}$$

σ : conductivité (en $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ ou $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$),

ρ : résistivité (en $\Omega \cdot \text{m}$),

R : résistance (en Ω),

L : distance entre les deux électrodes (en m),

S : surface de chaque électrode (en m^2) (Rodier, 2009).

III.2.4. Salinité

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

Le chlorure de sodium (NaCl) n'est qu'un des très nombreux sels contenus dans l'eau, pour la mesure de la salinité on utilise un multi-paramètre.

III.3. Les paramètres chimiques (anions et cations)

III.3.1. Calcium et Magnésien

III.3.1.1. Principe :

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'Acide Ethylene diamine tétraacétique (EDTA) à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage de deux indicateurs, sur un même échantillon s'effectue le dosage successif du Calcium et du Magnésium

III.3.1.2. Réactifs nécessaires

- **Solution EDTA 0.02 N** : Dissoudre 3.721 g d'EDTA di sodique (cristallisé 2 H₂O) dans 1000 ml d'Eau distillée. 1ml d'EDTA 0.02N correspond à 0.4008 mg de Calcium, 1 mg de Carbonate de Calcium et 0.243 mg de Magnésium.

- Solution tampon

Mettre dans 400 ml d'eau distillée 55 ml de HCl concentré. Ajouter 310 ml de 2-Aminoéthanol, 100 mg EDTA magnésien. Compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

- **Solution de Noir d'Eriochrome** : 0.5 g de Noir d'Eriochrome, 25 ml d'éthanol

- **Solution de Bleu d'Eriochrome** : 100 mg de Bleu d'Eriochrome, 100 ml d'eau distillée, 0.25 g de chlorhydrate d'hydroxy lamine

- **Solution de NaOH 1N** : 4 g de NaOH, 100 ml d'eau distillée

- **Solution de HCl 1N** : 8.3 ml de HCl, 100 ml d'eau distillée

III.3.1.3. Mode opératoire :

Prendre 50 ml d'eau à analyser. Ajouter 3 ml de NaOH puis 3 gouttes de Bleu d'Eriochrome. Verser la quantité nécessaire de solution EDTA pour obtenir le virage au violet (le volume recueilli dans le becher) noté V₁. Ajouter à la même solution 3.2 ml de HCl 1 N et agiter durant 1 mn jusqu'à parfaite dissolution du précipité magnésien. Verser 5 ml de solution tampon et 1 goutte de solution de Noir d'Eriochrome. Bien mélanger. Introduire la quantité de solution EDTA nécessaire au virage au bleu (le volume recueilli dans le bécher). Noté V₂.

Expression des résultats pour une prise d'essai de 50 ml :

*La teneur en Calcium est égale à : $Ca (mg/l) = (V_1 \times 0.4008 \times 1000)/50$

*La teneur en Magnésium est égale à : $Mg (mg/l) = (V_2 \times 0.243 \times 1000)/50$

*La dureté totale est égale à : $CaCO_3 (mg/l) = [(V_1 + V_2) \times 1000]/50$

III.3.2. Sodium et potassium

III.3.2.1. Méthode du Photomètre à Flamme

Le modèle 410 de Sherwood Scientific est un photomètre à flamme basse température pour la détermination des teneurs en Na, K et Li. Le Modèle 410 a un affichage digital et précis, fiable, facile d'emploi et simple d'entretien (Figure 1). Il est muni d'un détrompeur qui coupe

automatiquement l'arrivée du gaz si la flamme ne s'allume pas ou si elle s'éteint en cours d'utilisation. Il y a aussi un contacteur de pression pour assurer que la flamme ne s'allume pas ou s'éteint si la pression atmosphérique devient inférieure à une valeur spécifiée.

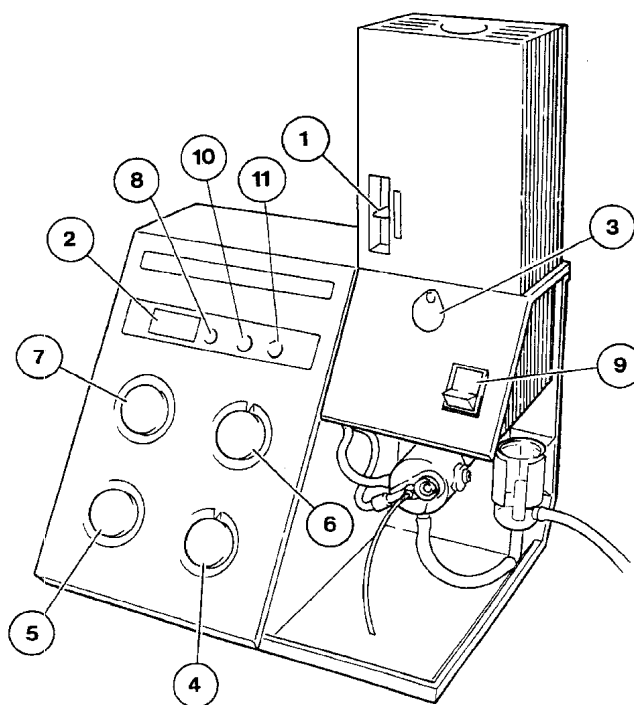


Figure II-27: Photomètre à Flamme 1.Sélecteur de filtre. 2. Affichage digital. 3. Volet d'inspection. 4. Réglage de gaz. 5. Réglage du blanc. 6. Réglage de sensibilité- grossier. 7. Réglage de sensibilité - fine. 8 Sélecteur du point décimal. 9. Interrupteur marche/arrêt. 10.DEL – appareil en marche. 11. DEL – flamme allumée.

III.3.2.1.1. Mode opératoire

Selon la teneur de l'élément à doser dans l'eau, il sera nécessaire de procéder à une dilution. L'addition de « tampons de radiation » permet de tenir compte de la présence de substances étrangères susceptibles de provoquer des interférences. D'une façon générale il y a lieu.

III.3.2.1.2. Méthodes de mesure

- méthode de l'étalon interne

Ajouter à chaque échantillon une quantité connue et constante d'un élément autre que celui à doser. Mesurer le rapport des intensités de la raie analysée et de la raie de l'étalon.

Se reporter à la courbe d'étalonnage établie dans les mêmes conditions. Cette méthode permet d'éliminer les erreurs dues à des interférents, aux modifications de viscosité de la solution et aux variations de température de la flamme. Mais elle nécessite l'emploi de solutions étalons très

pures. De plus, l'élément ajouté ne doit pas être un des éléments à doser dans l'échantillon d'eau analysée.

III.3.4. Chlorures

III.3.4.1. Méthode de Charpentier-Volhard

III.3.4.1.1. Principe

Les chlorures d'un volume connu d'eau sont précipités en présence d'acide nitrique par un excès de nitrate d'argent titré. L'excès de sel argentique est déterminé par une solution titrée de thiocyanate d'ammonium en présence d'alun de fer (Rodier, 2009).

III.3.4.1.2. Réactifs

- Acide nitrique pur.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.
- Solution de thiocyanate de potassium ou d'ammonium 0,1 N.
- Alun ferrique ammoniacal en solution saturée, décolorée par quelques gouttes d'acide nitrique.

III.3.4.1.3. Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau filtrée dans une fiole conique de 250 ml, puis une quantité connue de nitrate d'argent 0,1 N en excès. Soit V millilitres de nitrate d'argent utilisés. Ajouter alors 5 ml d'acide nitrique concentré et 2 ml d'alun ferrique. Titrer l'excès de nitrate d'argent par le thiocyanate 0,1 N jusqu'à coloration rougeâtre persistante, en agitant après chaque addition de réactif. Soit le nombre de millilitres de thiocyanate versés.

III.3.4.1.4. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$(V-) \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

$(V-) \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

III.3.5. Sulfates et nitrates

III.3.5.1. Méthode du Système Photomètre

III.3.5.1.1. Mode opératoire

On calibre le photomètre sur les éléments concernés (Sulfates et nitrates). La remise à zero du photomètre s'effectue par le blanc. En suite, on détermine les concentrations des échantillons prélevés.



Figure II-28:Méthode du Système Photomètre

III.3.6. bicarbonates

Les dosages ont été effectués par potentiométrie et par volumétrie en utilisant un appareil de titrage automatique et les réactifs : H_2SO_4 à 0.02N solution tampon.

I) Résultats et discussions des paramètres hydrochimiques considérés

Introduction

L'hydrochimie est la science qui étudie la chimie des eaux. Son étude permet de connaître les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et déterminer leurs origines géologiques. Elle est liée à la nature lithologique du terrain traversé, au climat et à l'activité anthropique. Ce qui permet de comparer les eaux entre elles et d'interpréter les données d'analyses par des diagrammes.

Pour cela, nous avons sélectionné deux points d'eau : la source de Ain Al Karma localisée à la commune de Khenchela et celle de Ain Sfa située à la commune de Tamza (c.f : Figure II-3, chapitre 2).

I. Objectifs du chapitre :

- Définir la qualité des eaux de sources en ayant recours aux analyses,
- Etudier et comprendre les mécanismes responsables de cette qualité,
- Déterminer les faciès chimiques des deux sources et leur relation avec l'environnement géologique et en fin,
- Comparer ces faciès.

Pour cela, un certain nombre de tableaux et de diagrammes a été réalisé pour permettre l'interprétation générale des résultats d'analyses physico-chimiques.

1. Etude des paramètres physico-chimiques

En dehors des études de contrôle et des recherches scientifiques, la plupart des analyses physico-chimiques d'eau ont pour objet l'hygiène publique, la lutte contre la pollution et la surveillance des installations.

Les concentrations des différents constituants de l'eau sont exprimés en milligramme par litre. Il s'agit d'une moyenne des principaux composants : calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures, et nitrates.

L'origine de l'eau ainsi que la solubilité de ses constituants est gérée par un certain nombre de paramètres physiques tels que :

- La température,
- Le potentiel d'Hydrogène (pH),
- La conductivité électrique (CE),
- La salinité,

Et des paramètres chimiques tels que :

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

Afin d'interpréter les analyses physico-chimiques, des histogrammes Les résultats de ces analyses sont récapitulés dans des tableaux, où les différentes concentrations sont reportées avec les normes de la potabilité de l'O.M.S.

2. Paramètres physiques

2.1. Température

Les mesures de la température montrent que la source de Ain Al Karma est plus élevée que celle de la source de Ain Sfa. Nous supposons alors que la source de Ain Al Karma est plus profonde. Son origine est issue d'une faille probablement plus profonde. Aucune étude géophysique n'est réalisée jusqu'alors pour confirmer ces suppositions (figure, III-1).

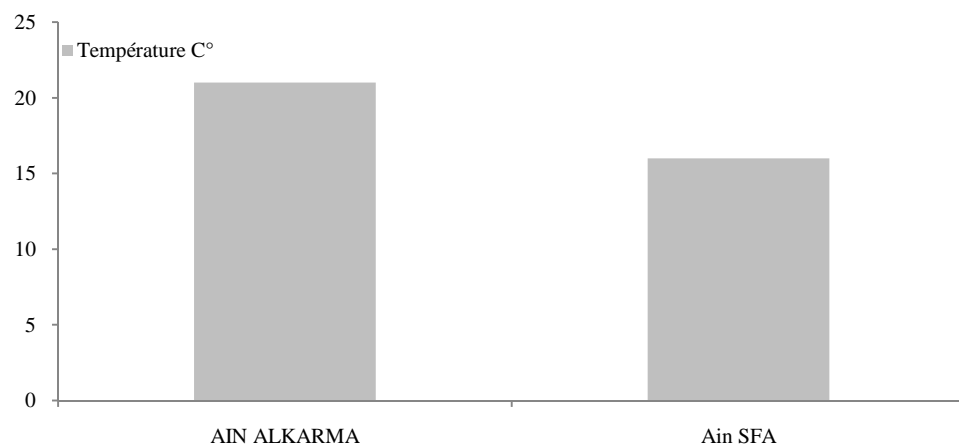


Figure III-1: Représentation graphique de la température des deux sources

2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Les directives de l'OMS conseillent, pour l'eau destinée à la consommation humaine, un pH compris entre 6,5 et 8,5. On note que les valeurs de pH mesurées sont situées dans la gamme des valeurs guides de l'OMS comme l'explique la figure III-2.

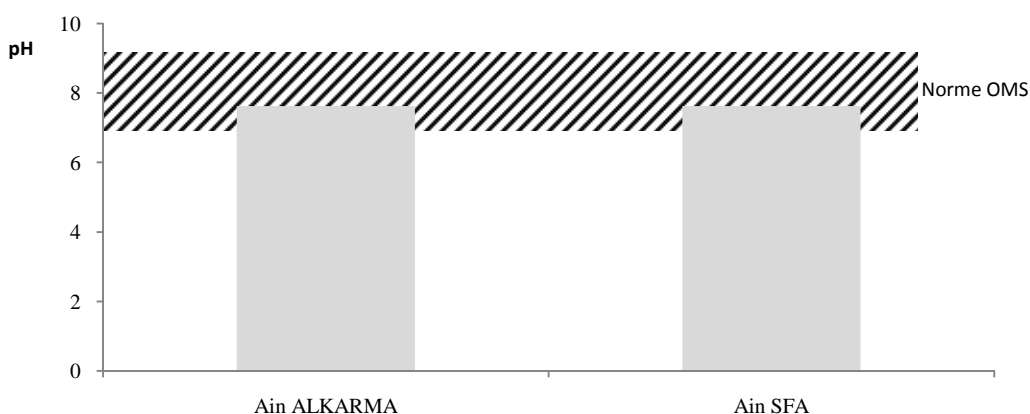


Figure III-2: comparaison entre le pH des deux sources et celui des normes OMS

Une classification des eaux par leur pH a été effectuée par Agrigon (2000) et est résumée dans le tableau suivant. D'après cette classification le pH des eaux d'Ain Al Karma et Ain Sfa qui est 7,62 est qualifié : Neutralité approchée : majorité des eaux de surface.

Tableau III-1 : Classifications des eaux d'après leur pH (Agrigon, 2000).

pH d'eau	Leur classification
pH < 5	Acidité forte: présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
pH = 7	pH neutre.
7 < pH < 8	Neutralité approchée: majorité des eaux de surface.
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines.

pH > 8	Alcalinité forte, évaporation intense.
--------	--

2.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est liée à la présence d'ions en solution. Elle augmente avec la température et la concentration en sels dissous.

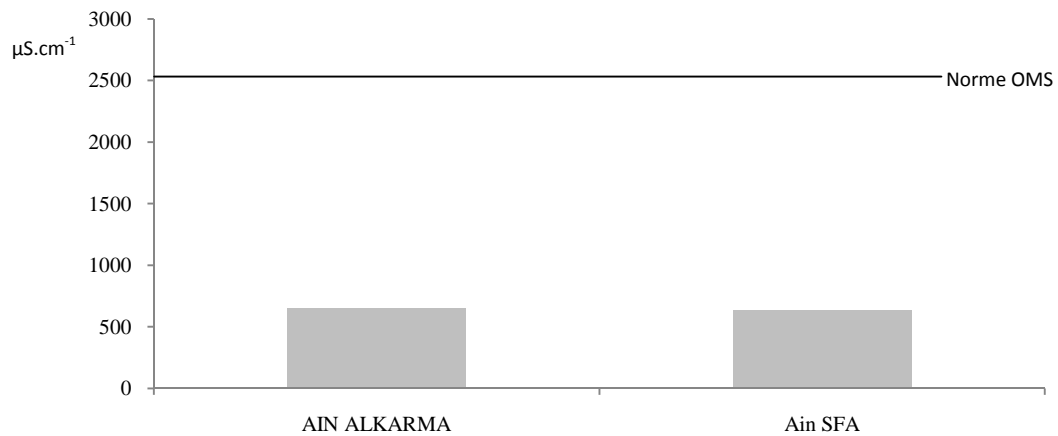


Figure III-3: Comparaison des conductivités électriques

L'OMS conseille, pour une eau destinée à la consommation humaine, une conductivité électrique pouvant atteindre la valeur de 2500 μS.cm⁻¹. On note que les valeurs de la conductivité électrique mesurée sont situées au-dessous des valeurs maximal OMS comme explique la figure III-3.

3. Etude des paramètres chimiques

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, par conséquent, son attribution pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (potabilité, irrigation, industrie...etc) (Shuilling, 1988).

3.1. Calcium

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

Soit par la dissolution des formations carbonatées, gérée par la réaction :



Soit par la dissolution des formations gypseuses.

La concentration de Calcium selon les normes de l’OMS pour accepter les eaux à la consommation humaine peut aller jusqu’à 100 mg/l Ca.

Les résultats des teneurs en Calcium calculées dans les eaux des deux sources sont différents d’une source à l’autre tout en restant bien au dessous des normes OMS :

La teneur en Ca à Ain Al Karma se situe à environ 70 mg/l alors que celle de Ain Sfa est de 46 mg/l (figure III-4).

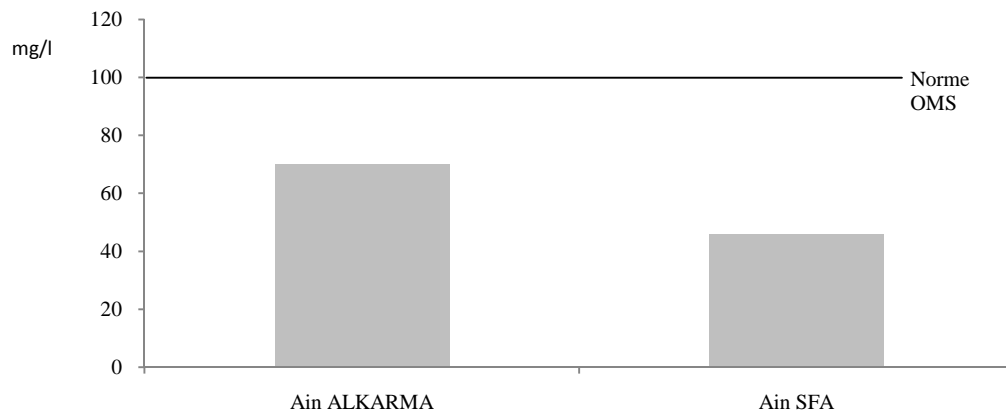


Figure III-4: Les concentrations en Ca^{2+}

3.2. Magnésium

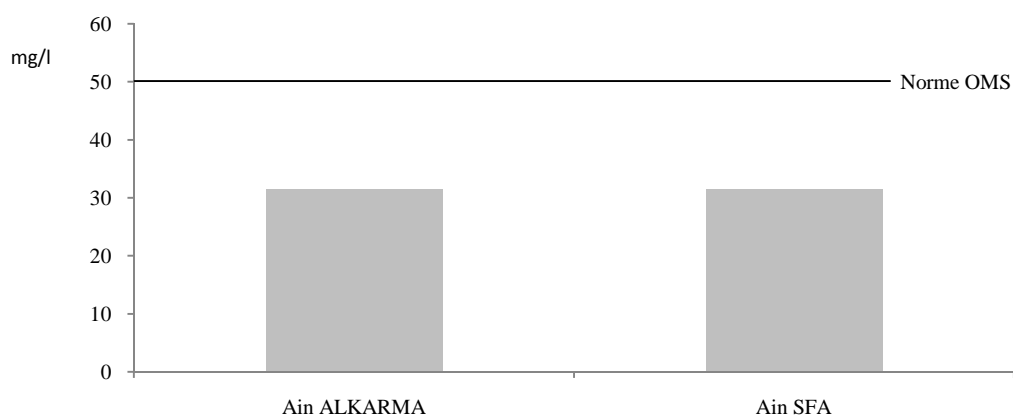
Les ions Mg^{2+} proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium telle que la magnésite et la dolomite, selon les réactions suivantes :

- Magnésite : $\text{MgCO}_3 \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$
- Dolomite : $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$

Quand la dolomite est attaquée, il n'y a pas de solubilité sélective, il y a alors autant de Calcium que de magnésium dans la solution. Si toutefois la quantité du Calcium dépasse celle du magnésium, l'eau aurait obtenu sa minéralisation du calcaire.

Aussi bien pour la source de Ain Al Karma que pour celle de Ain Sfa, les teneurs en magnésium ne varient pas et sont au dessous des normes OMS (Figure III-5).

Ces résultats laissent supposer que les apports en magnésium proviennent de la dissolution des formations évaporitiques.



FigureIII- 5: Les concentrations en ions Mg^{2+}

3.3. Sodium

Dans les eaux naturelles non polluées, le sodium est beaucoup plus abondant que le potassium. Les deux éléments sont généralement présents dans les eaux naturelles avec des teneurs variables. Leur origine géologique est attribuée aux marnes Maestrichtien gypsifères, ainsi qu'à l'activité climatique qui donnent des concentrations élevées en ions sodium et ceci par des phénomènes de lessivage et d'évaporation. Il peut provenir également du lessivage des formations riches en NaCl et des eaux usées d'origines industrielles et domestiques.

Dans les cas des deux sources concernées, les valeurs de Na^{2+} sont bien plus faibles par rapport aux normes de l'OMS (figure III-6). Ce qui traduirait l'influence des facteurs climatiques à savoir la sécheresse de la saison et par conséquent, le manque de lessivage des argiles et marnes.

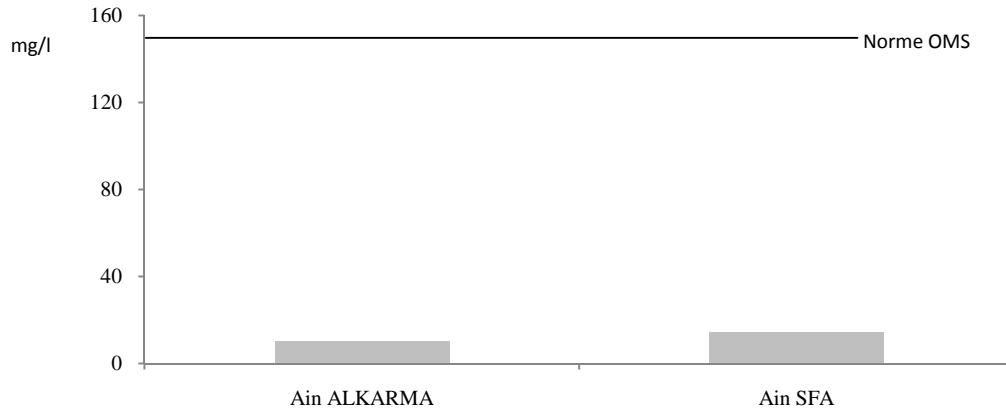


Figure III-6: Les valeurs de Na^{2+} des deux sources par rapport aux normes OMS

3.4. Potassium

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et les formations silicatées (gneiss, schiste). Dans le cas des deux sources étudiées, la concentration représente le tiers (1/3) de la valeur des normes OMS (figure III-7). Ce qui pourrait impliquer l'impact de la saison sèche sur le mécanisme de l'altération des argiles potassiques.

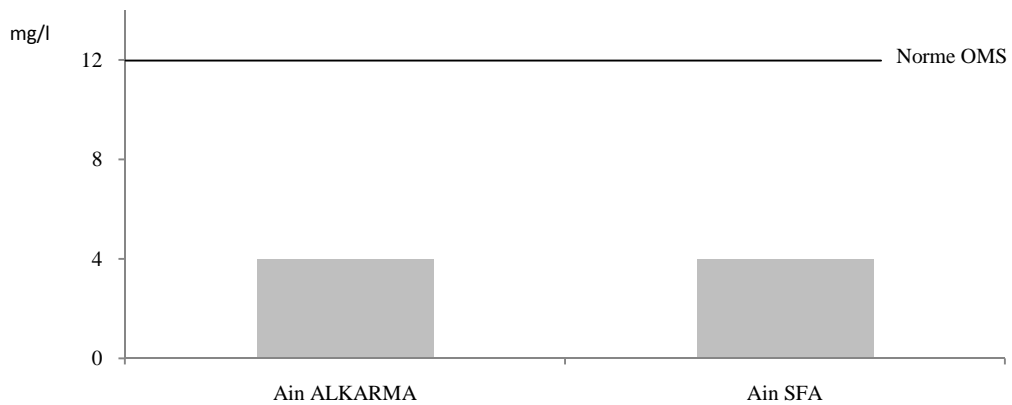


Figure III- 7: Les valeurs de K^{+} des deux sources par rapport aux normes OMS

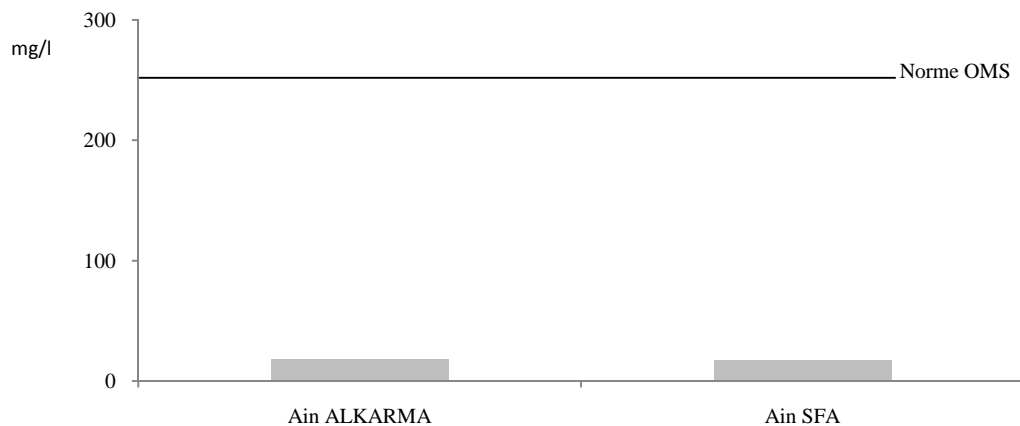
3.5. Chlorures

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Les chlorures constituent un excellent traceur de la salinité et de la pollution anthropique. La

teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation qui est dû à la dissolution des sels naturels, de l'industrie ou des rejets d'eau usée d'origine domestique en particulier l'urine qui est responsable d'un rapport d'environ 60 mg/l d'ion Cl^- / personne / jour.

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines dont les argiles sableuses gypsifères du Quaternaire qui couvrent la totalité de la région.

Les valeurs mesurées dans les eaux des deux sources sont très faibles aussi bien pour Ain Sfa que pour Ain Al Karma, avec respectivement 17 mg/l et 17,75 mg/l, par rapport à la norme OMS de 250 mg/l (figure III-8). On peut en déduire l'absence de la pollution anthropique.



FigureIII- 8 : Les valeurs de Cl^-

3.6. Sulfates

La concentration des eaux naturelles en sulfates est variable. La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution du gypse contenu dans les marnes maestrichtien à cause du lessivage des dépôts évaporitiques.

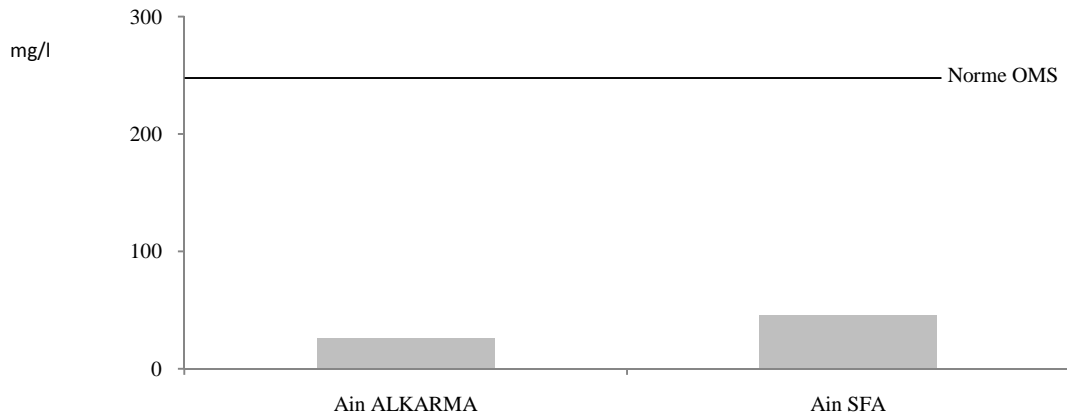
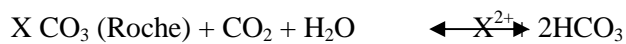


Figure III- 9 : Les concentrations de SO_4^{2-} des deux sources par rapport aux normes OMS

Les concentrations mesurées sur les deux sources sont très faibles par rapport aux normes OMS (figure III-9), ce qui pourrait traduire l'influence de la saison sèche ou l'absence de la dissolution du gypse.

3.7. Bicarbonates

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



Sur les deux sources les teneurs en bicarbonates sont élevées, par l'influence des cailloutis calcaires, et avec l'association des calcaires du Quaternaire, dû à la dissolution des roches calcaires en bicarbonates (figure III-10).

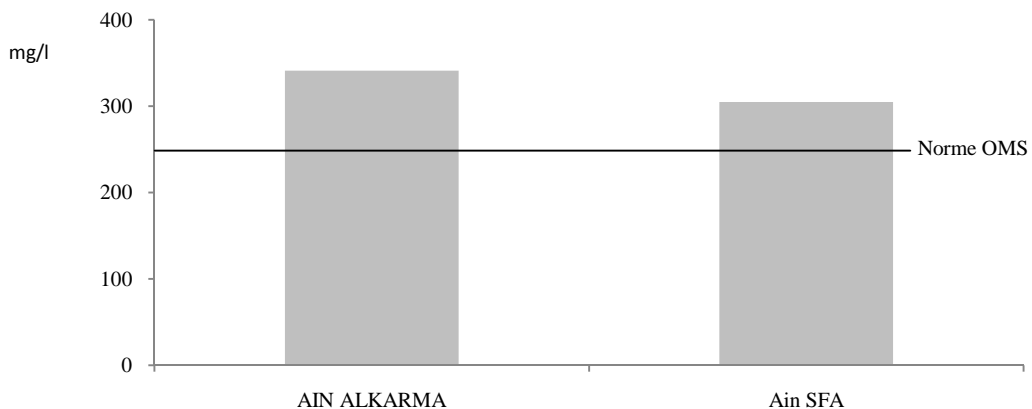


Figure III-10: Les concentrations de HCO_3^- des deux sources

3.8. Nitrates

Les nitrates proviennent généralement des eaux de percolation, et sont présents dans les milieux souterrains par tassement des débris des végétaux. Ils sont beaucoup plus mobiles dans les sols et représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. L'apport atmosphérique en nitrates est faible, la teneur naturelle des eaux souterraines en cet élément est également faible et dépend donc du type de sols et de la végétation qui les recouvre.

Selon cette étude, les teneurs en nitrates sont acceptables par rapport aux normes OMS. On a une concentration de 7 mg/l pour Ain Al Karma et 11,4 mg/l pour Ain Sfa (figure III-11).

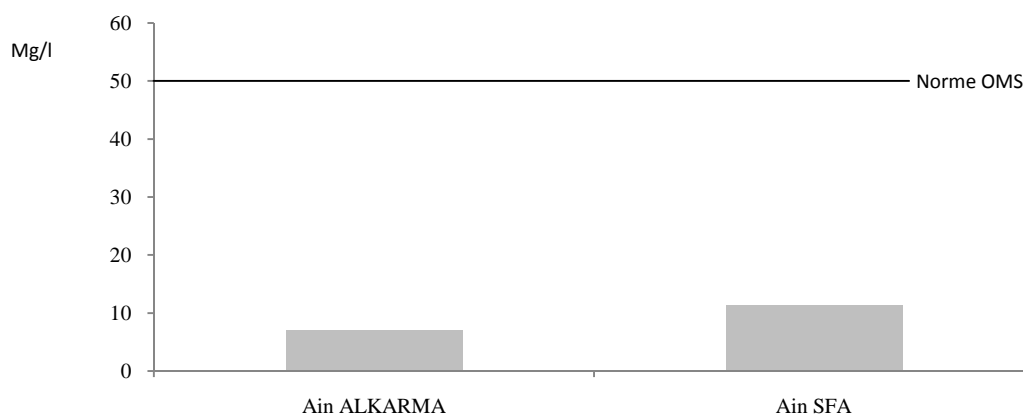


Figure III-11: Les concentrations de NO_3^- des deux sources par rapport aux normes OMS

4. Détermination des principaux faciès hydro chimiques

Le faciès hydrochimique est déterminé par le calcul des quantités d'ions en réaction (conversion des concentrations en milliéquivalent / litre), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

Les principaux faciès hydrochimiques déterminés pour les deux sources sont présentés dans le tableau suivant, où on remarque que le faciès chimique de chacune des deux sources est différent de celui de l'autre.

Tableau III-2 : Faciès chimiques des deux sources

La source	Les Faciès chimiques
Ain Al Karma	Bicarbonatée calcique
Ain Sfa	Bicarbonatée magnésiennes

4.1. Diagramme de Piper

Cette méthode est fondée sur le dessin des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les deux sources entre elles. Ce diagramme comprend un losange et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont gradués en cent (100) unités égales correspondant aux quantités en réaction pour cent (calculé par rapport aux ions de même nature). Ainsi, dans chaque triangle, un point représentatif est obtenu. Les deux parallèles menées depuis ces points sur le losange s'entrecroisent en un seul point dans le losange, par simple lecture, le faciès chimique sera connu.

Dans notre cas, la combinaison des différents cations et anions a donné naissance à des faciès Bicarbonatés magnésiens pour les deux sources, ce qui confirme l'impact des conditions climatiques, la lithologie et les activités anthropiques sur la formation de ces faciès.

Diagramme de Piper

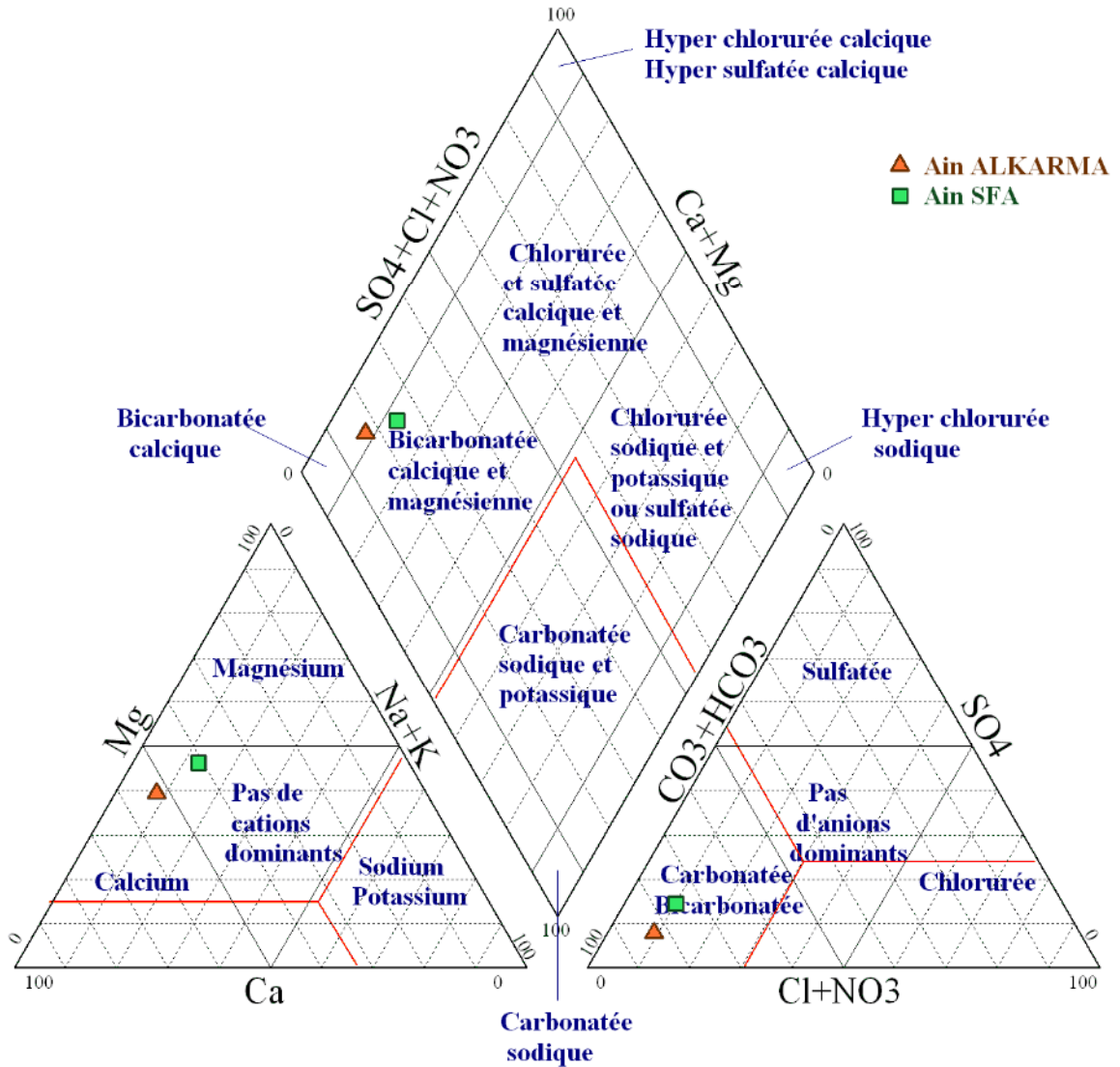


Figure III-12: La représentation des deux sources sur le diagramme de Piper.

D'après la représentation de Piper, la source de Ain Al Karma est **Bicarbonatée calcique** alors que la source Ain Sfa est **Bicarbonatée magnésienne**.

4.2. Diagramme de Stabler

Le diagramme de Stabler représente la contribution de chaque espèce ionique à la somme cationique ou à la somme anionique. Les unités sont donc des équivalents par litre (méq/l) ou, le plus souvent, des milliéquivalents par litre. Le diagramme se décompose en deux barres, l'une pour les anions, l'autre pour

les cations. Elles ont donc même longueur car les solutions sont électriquement neutres et la somme des anions est égale à la somme des cations.

Ce diagramme donne une représentation très claire des résultats des analyses chimiques. Le calcium est l'élément qui domine sur les cations, pour la source de Ain Al Karma et dominance du magnésium pour la source de Ain Sfa. Pour les anions, c'est les bicarbonates qui dominent pour les deux sources à la fois, ce qui confirme que le faciès de la source de Ain Al Karma est Bicarbonatée calcique. Tandis que la source de Ain SFA est Bicarbonatée magnésienne (figure, III-13).

KHENCHELA

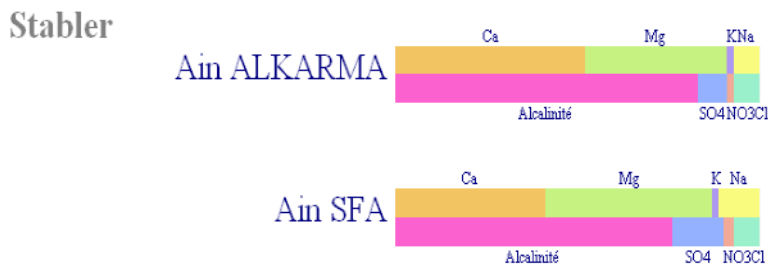


Figure III-13: Représentation des deux sources sur le diagramme de Stabler

4.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff permet de représenter chaque analyse par une ligne brisée. Le profil caractérise la concentration de chaque ion majeur en solution dans l'eau. Les six échelles logarithmiques à égale distance les unes des autres sont décalées de façon à aligner les valeurs unitaires des milliéquivalents des différents anions et cations.

Ces profils permettent de mettre en évidence la parenté des eaux entre elles ; c'est dans ce but que les diagrammes vont être utilisés par la suite ; ils peuvent aussi montrer le passage d'un faciès chimique à un autre (figure III-14).

KHENCHELA

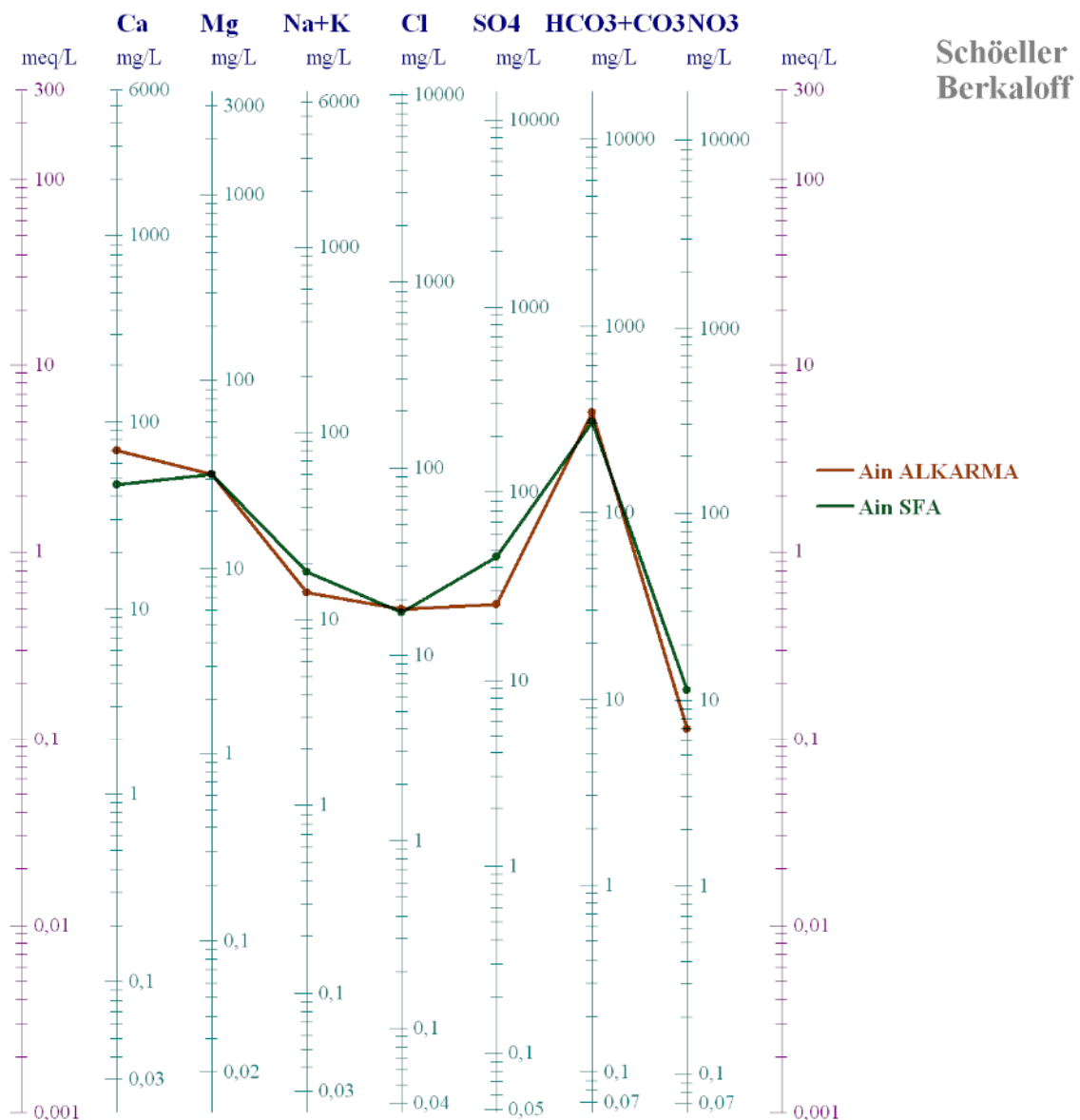


Figure III-14: La représentation des sources sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

L'observation du diagramme de Schoeller-Berkaloff montre que la source de Ain Al Karma est bicarbonatée magnésienne. Aussi, on peut dire que les deux source ont une origine similaire puisque les deux lignes de représentation des deux sources ont une même évolution (Figure III-14).

5. Caractérisation des sources pour l'irrigation

On détermine le Sodium Absorption Ratio (S.A.R) par la relation suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \text{ Où :}$$

Na : Concentration de l'eau en ions sodium (méq/l)

Ca : Concentration de l'eau en ions calcium (méq/l)

Mg : Concentration de l'eau en ions magnésium (méq/l)

Ce ratio exprime la classe de qualité de l'eau à étudier. La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau (figure 15 et figure 16) permet la classification de l'eau à l'irrigation selon les classes suivantes (Tableau III-3)

Tableau III-3 : la classification des eaux à l'irrigation

Les classes	La qualité des eaux pour l'irrigation
C1S1	excellente
C1S2	
C1S3	
C2S1	bonne
C2S2	
C2S3	
C3S1	admissibles
C3S2	
C3S3	médiocres (fortement minéralisées)
C4S1	
C4S2	
C4S3	mauvaises (très minéralisée)

Les eaux naturelles provenant des deux sources étudiées sont classées dans la catégorie des eaux bonnes pour l'irrigation des sols agricoles.

5.1. Classification des eaux par la méthode de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox est fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation. Le pourcentage en ions Na^+ est défini par la relation suivante :

$$\% \text{Na}^+ = \frac{\overline{\text{Na}^+}}{(\overline{\text{Ca}^{2+}} + \overline{\text{Mg}^{2+}} + \overline{\text{Na}^+} + \overline{\text{K}^+})} \times 100$$

Où tous les ions sont exprimés en méq/l.

Cette classification définit 5 classes d'eau : Excellente, Bonne, Admissible, Médiocre et Mauvaise.

Dans le cas des sources étudiées dans ce travail, la représentation sur le diagramme de Wilcox se situe au niveau de la classe C2S1 (figure III-15) : Elle caractérise une eau bonne pour l'irrigation.

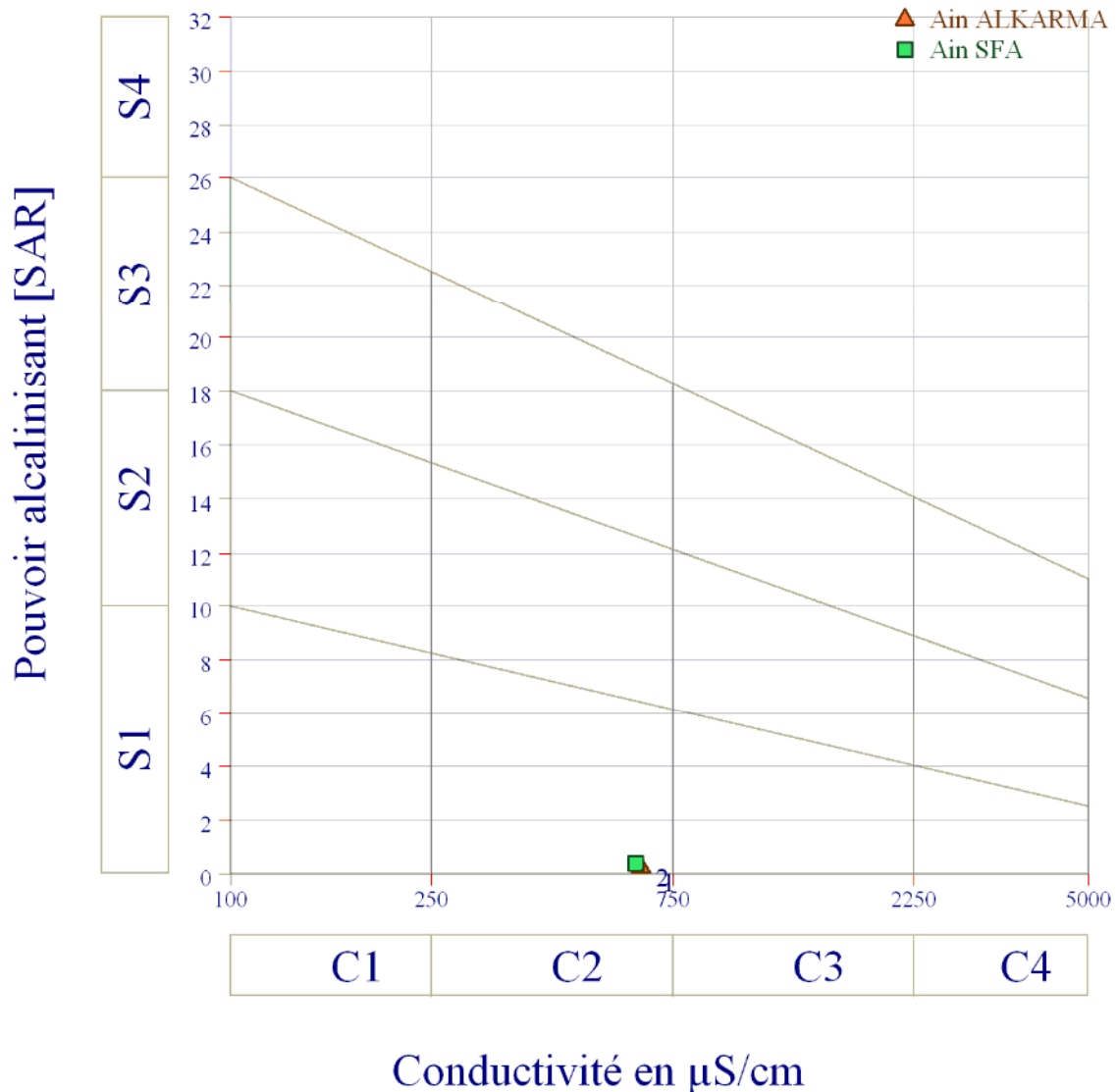


Figure III-15: Représentation des deux sources sur le diagramme de Wilcox

5.2. Classification des eaux par la méthode de Riverside

Le diagramme de Riverside repose sur le croisement de deux critères.

- le premier est la conductivité électrique ou la charge totale dissoute. Ce critère vise à quantifier la charge en sel de la solution et par voie de conséquence le risque de salinisation (i.e. d'accumulation de sel dans les sols). Les eaux sont classées de 0 à 5 selon le risque croissant de salinisation.

- le second critère est le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) de l'eau ou bien le taux de sodium échangeable induit par l'eau dans le sol. Ce critère permet d'évaluer le risque de salinisation du sol par

l'eau d'irrigation. Les eaux sont classées en trois classes : faible 1, moyenne 2, forte 3, selon le risque croissant de salinisation (figure III-16).

La classe qui illustre le mieux les sources de Ain Al Karma et celle de Ain SFA est la classe faible 1-2. Généralement, cette classe renferme des eaux bonnes pour l'irrigation (figure III-16)

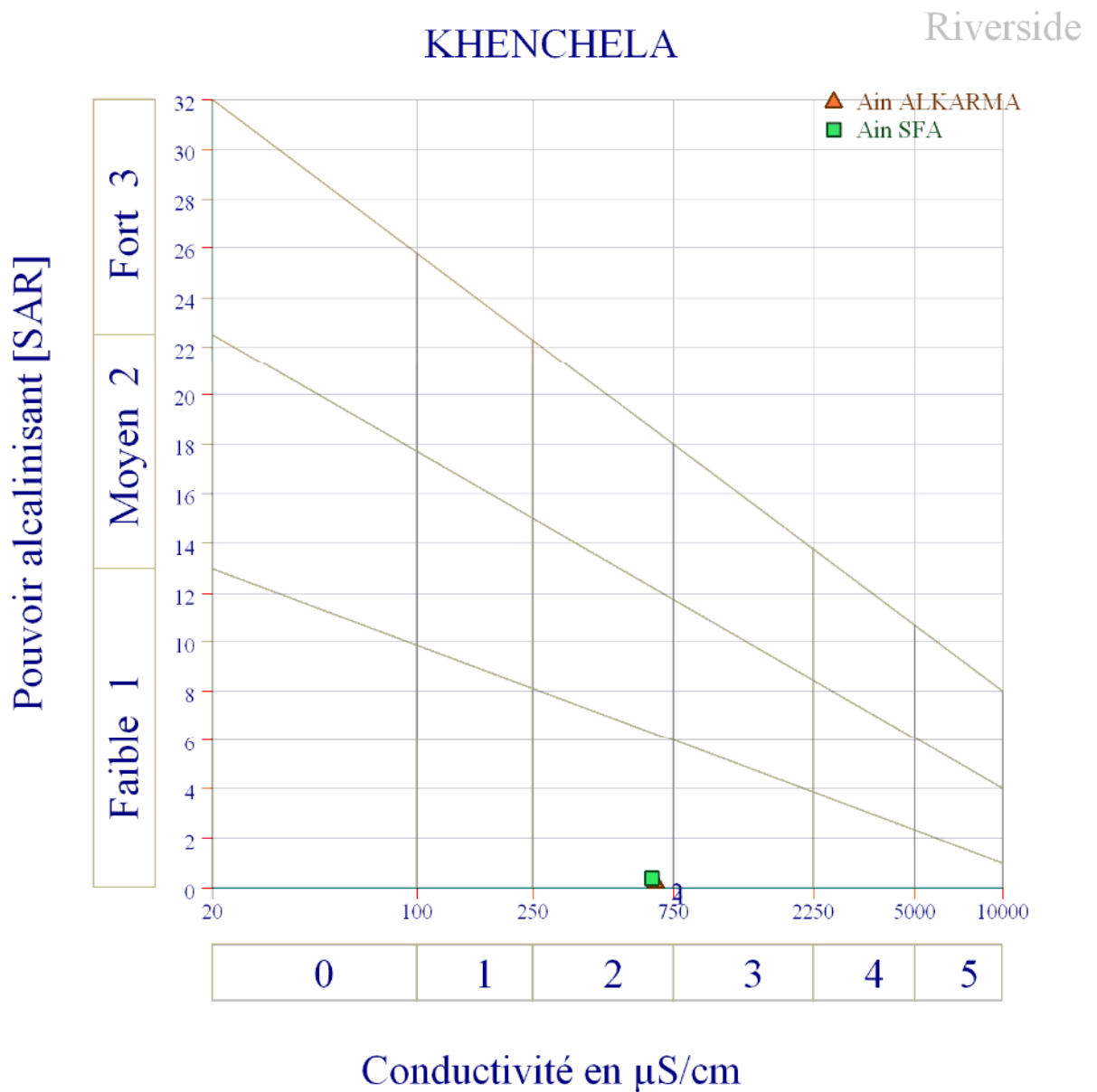


Figure III-16: La représentation des sources sur le diagramme de Riverside.

Conclusions et perspectives

Cette étude de caractérisation des eaux de deux sources, la source de Ain Al Karma et celle de Ain Sfa, largement utilisées par la population au niveau de la wilaya de Khenchela, à l'Est de l'Algérie, a été menée dans le but de déterminer la qualité physico-chimique de ces sources.

Ain Al Karma, émergence naturelle qui date de l'époque coloniale, est issue d'un aménagement réalisé par l'arrondissement colonial représenté par la commune de Khenchela. Elle est située piémont du Djebel Serdoun, au sein de l'agglomération de Ain Al karma, au sud ouest de la ville de Khenchela, à une altitude de 1207 m, avec les coordonnées 35° 26' 7,6" Nord et 7° 84' 15,13" Est. Son débit varie entre 3 et 5 litres / seconde.

Ain Sfa, qui est rattachée à la commune de Tamza, est une source naturelle située à l'approche de Djebel Djahfa et Oued Djemri, à 1224 m d'altitude avec les coordonnées 35° 20' 09,8" Nord et 07° 02' 17,9" Est. Son débit est d'environ 4 litres / seconde.

L'étude géologique de la région des deux sources a montré que les formations géologiques parcourues par les eaux de ces sources influe sur la qualité chimique de leurs eaux parce que les principaux âges géologiques présents dans cette région sont à l'origine de cette composition.

L'étude climatique a montré que la zone d'étude bénéficie d'un climat semi-aride et un régime saisonnier du type PAHE, c'est-à-dire que le pourcentage des précipitations est d'ordre Printemps avec 29,96 % (149,42 mm), suivi par l'Automne avec 27,19% (135,63 mm), puis l'hiver avec 23,34 % (116,44 mm) et en fin l'été avec 19,49 % (97,23 mm) sur une période de 18 ans, avec des précipitations interannuelles de 498,95 mm et une température moyenne annuelle de 15,76 °C. Le calcul des paramètres Ruissèlement ($R = 56,31\text{mm}$ soit 11, 29 % des précipitations) et Infiltration ($I = 18,75\text{mm}$ soit 3,76 % des précipitations) est prouvé que le terrain de la région est moins imperméable et qu'il a une faible pente.

Du point de vue physico-chimique et hydrochimique, les différentes teneurs mesurées et observées pour chaque paramètre étudié, au niveau des deux sources en comparaison avec les norme OMS, et avec l'interprétation des différents diagrammes (Piper, Stabler, Schoeller-Berkaloff , Wilcox et Riverside) ont donné les résultats suivants :

1. Les teneurs de chaque paramètre mesuré, qu'il soit physique ou chimique sont acceptables en comparaison avec les normes OMS, exception faite pour les bicarbonates qui doit résulter probablement de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique atmosphérique tout comme pour des calcaires, dont la concentration est acceptable pour la boisson humaine.

2. D'après la représentation des résultats sur les diagrammes de Piper et de Stabler, les deux sources possèdent des faciès chimiques différents. Le faciès est Bicarbonaté calcique pour la source de Ain Al Karma alors qu'il est Bicarbonaté magnésien pour la source Ain Sfa.

3. D'après le diagramme du Schoeller-Berkaloff, on peut avancer que les deux sources possèdent une origine similaire puisque les deux lignes de représentation des deux sources ont une même évolution.

Tandis que pour les classifications de Wilcox et de Riverside, qui sont utilisés pour estimer si les eaux de ces deux sources peuvent être utilisées pour l'irrigation, on a pu constater que les résultats caractérisent les deux sources à la fois d'une bonne qualité pour l'irrigation.

Enfin et d'après tous les résultats affichés, on peut que la qualité des eaux des sources de Ain Al Karma et de Ain Sfa sont aptes à l'utilisation humaine et pour l'irrigation.