

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de TLEMCCEN
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

*Laboratoire Promotion des Ressources Hydriques, Minières et Pédologiques :
Législation de l'Environnement et Choix Technologiques*

MEMOIRE

Présenté par

KADDOUR Nor El Houda

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

en **HYDROGEOLOGIE**

Thème

**CARACTERISATION, CLASSIFICATION, ET STATISTIQUE MULTI
VARIABLE DES EAUX DU BASSIN VERSANT
DE L'OUED EL MALAH (NW ALGERIEN).**

Soutenu publiquement le, 11 / 10 / 2017, devant le jury composé de :

Présidente	M M BENCHOUK.	M C B	Université de Tlemcen
Encadreur	Mme BABA-HAMED K.	M C A	Université de Tlemcen
Co-Encadreur	M A BOUANANI	Pr	Université de Tlemcen
Examinatrice	Mme HEBIB I.F.	M A A	Université de Tlemcen

2016 – 2017

REMERCIEMENTS

L'élaboration de ce mémoire de fin d'études est le fruit de cinq années d'études. Ce travail n'aurait pu voir le jour sans la collaboration de nombreuses personnes qu'il m'est agréable de remercier.

Je remercie Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donnée durant toutes ces années d'études.

Je tiens tout d'abord à remercier mes encadreurs Madame **BABA-HAMED Kamila** et Monsieur **BOUANANI Abderrazak**, pour m'avoir fait confiance, ainsi que pour leur disponibilité, leur patience et leurs généreux conseils tant scientifiques qu'humains qui m'ont été d'une grande valeur.

Merci pour votre aide inestimable, vos précieux conseils avisés m'ont été très utiles pour améliorer et développer mon esprit critique et scientifique.

C'est un honneur pour moi de voir dans mon jury Monsieur **BENCHOUK Moustafa** et Madame **HBIB Imen Fazilet**. Qu'elles soient vivement remerciées.

Mes remerciements à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Tlemcen.

Et enfin, je tiens à remercier tous mes amis (es) qui m'ont aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail avec toute mon affection :

*A la mémoire de ma défunte Mère **ABLA** qui m'a trompé et ma défunte tante **FATIMA**. Sans elles, je n'aurais certainement pas fait d'études longues.*

J'espère que ce travail pourra exprimer mes sentiments, mon amour et mon éternelle gratitude pour elles.

*A ma mère qui m'a donné naissance **ZOHRA**, elle a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils.*

Mes deux pères, qui peuvent être fiers et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venus de vous.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes tantes, oncles, cousins et cousines, neveux et nièces paternels et maternels.

*A tous les étudiants de la promotion, particulièrement ma très chère **Sarah** ma compagne de galère, sans oublier **Amina** et **Nor meymouna**.*

*A mes amies de la cité universitaire **Nabila.T**, **Salima.M**, **Amina.C**, **Kheira.G**, **Amina.B**, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Nor-Elhouda

ملخص

هذه الدراسة تركز على الحوض الهيدروغرافي المالح في منطقة عين تموشنت، التي تقع في الشمال الغربي من الجزائر، من أجل فهم أفضل وإدارة النوعية الكيميائية للمياه من خلال تطبيق بعض المعالجات الإحصائية.

منطقة الدراسة هي جزء من الشمال التلي، حيث هناك تشكيلات جيولوجية مختلفة تتراوح بين باليوزويك إلى الرباعية، نذكر نوعين من التشكيلات : تشكيلات كربونات وتشكيلات البلهارسيا

حوض الدراسة ممدود إلى حد ما، ويتميز بانحدار حاد أو أكثر بمعدل جريان متوسط للمياه، وهو ما يسهل تسلسل المياه. مناخ المنطقة شبه قاحلة.

أتاحت دراسة كيمياء المياه للحوض إظهار السحنة السائدة كلوروري الصوديوم والبوتاسيوم. إن مدى ملاءمة هذه المياه للري يعطينا نوعية جيدة ومقبولة ومتوسطة وأحيانا رديئة في الري.

أظهر تحليل المكونات الرئيسية، التصنيف الهرمي الصاعد، و صندوق الشاربيين على مياه حوض المالح أن المياه تنقسم إلى مجموعات لها نفس الخصائص (أنيون المهيمنة).

الكلمات المفتاحية: الحوض الهيدروغرافي المالح، تشكيلات كربونات، تحليل المكونات الرئيسية، التصنيف الهرمي الصاعد، صندوق الشاربيين، أنيون المهيمنة.

Résumé

Cette étude concerne le bassin versant d'El Malah dans la région d'Ain Temouchent, situé au Nord-Ouest de l'Algérie, dans le souci de mieux comprendre et de gérer la qualité chimique des eaux par l'application de quelques traitements statistiques.

La zone d'étude fait partie du Tell septentrional où affleure différentes formations géologiques allant du Paléozoïque, au Quaternaire, on connaît deux types de formations : les formations carbonatées et les formations schisteuses.

Le bassin étudié est moyennement allongé, caractérise par une pente plus ou moins forte et un taux de concentration de ruissellement moyen, ce qui favorise l'infiltration des eaux. Le climat de la région est semi aride.

L'étude hydro-chimique, des eaux du bassin, a permis de mettre en évidence un faciès prédominant Chloruré sodique et potassique. L'aptitude de ces eaux à des fins d'irrigation montre une qualité bonne, admissible, médiocre et parfois mauvaise par endroit.

L'approche de l'Analyse en Composantes Principales, Classification ascendente hiérarchique, boîte à moustaches appliquée aux eaux du bassin versant d'El Malah a fait ressortir que les eaux sont réparties en groupes ayant les même caractéristiques (anions dominants).

Mots clés : bassin versant d'El Malah, formations carbonatées, ACP, CAH, boîte à moustaches, anion dominant.

Abstract

The study takes place on the watershed of Malah in the region of Ain Temouchent, located in North-West of Algeria, in order to better understand and manage the quality chemical of water by the application of some statistical treatments.

The study area is part of the northern Tell, where various geological formations ranging from the Paleozoic to the Quaternary, two types formations are known; carbonate formations and schistose formations.

The study basin is moderately elongated, characterized by a more or less steep slope and an average runoff concentration, which favors water infiltration. The climate of the region is semi-arid.

The hydro-chemical study, of the waters of the basin, made it possible to demonstrate a predominant facies Chloruré sodium and potassium. The suitability of these waters for irrigation gives us good, acceptable, mediocre and sometimes poor quality at irrigation.

The Principal Component Analysis, ascending hierarchical classification, Whisker Box approach applied to the waters of the El Malah watershed showed that the waters are divided into groups with the same characteristics (dominant anion).

Keywords : watershed of Malah, carbonate formations, , ACP, CAH, Whisker Box, dominant anion

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviations:

- HPO : Hydro Projet Ouest.
S : Surface.
P : Périmètre.
Kc : Indice de compacité.
L : longueur du rectangle équivalent.
l : largeur de rectangle équivalent.
Hmin : altitude minimale.
Hmoy : altitude moyenne.
Hmax : altitude maximale.
I_m : pente moyenne.
I_G : indice globale de pente.
Ds : dénivelé spécifique.
D_d : densité de drainage.
F : densité hydrographique.
Rc : rapport de confluence.
R_L : rapport de longueur.
C_T : coefficient de torrentialité.
A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
P : précipitation.
P_{moy} : précipitation moyenne.
T : température.
T_{moy} : température moyenne.
I : indice d'aridité de De.Martonne annuel.
i : indice d'aridité de De.Martonne mensuelle.
I_M : indice de Moral.
ADE : Algérien des eaux.
pH : potentiel hydrogène.
Ce : conductivité.
RS : résidu sec.
BI : balance ionique.
KR : indice de Kelly's Ratio.
Na% : pourcentage du sodium.
SAR : Sodium Alkalinity Ratio.
ACP : analyse en composante principale.
F1 : facteur 1.
F2 : facteur 2.

LISTE DES ABREVIATIONS

F3 : facteur 3.

CAH : classification ascendante hiérarchique.

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Fig.I.1: Situation géographique de la région d'étude (H.P.O d'Oran).....	3
Fig.I.2: Localisation du bassin versant d'Oued El Malah (N.Bentekhici,2006).....	4
Fig.I.3: Délimitation du bassin versant d'Oued El Malah (H.P.O , 2005).....	5
Fig.I.4: Délimitation des principaux sous bassins d'Oued El Malah (H.P.O , 2005).....	6
Fig.I.5: Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued El Malah (H.P.O , 2005).....	9
Fig I.6 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued El Malah.....	10
Fig I.7 : Histogrammes des fréquences altimétriques du bassin versant d'Oued El Malah.....	10
Fig.I.8: Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malah (H.P.O, 2005).....	14
Fig.I.9:Classification du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malah (H.P.O, 2005).....	15
Fig I.10: Rapport de confluence.....	17
Fig I.11 : Rapport de longueur.....	18
Fig I.12: Carte géologique de la région d'Aïn Temouchent (G. Thomas , 1985).....	22
Fig I.13: Carte piézométrique du bassin versant d'Oued El Malah (campagne, 2005)....	24
Fig.II.1 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980 – 2013/2014).....	26
Fig II.3: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980 –2013/2014).....	27
Fig II.4 Histogramme des précipitations saisonnières de la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).....	27
Fig II.5: Variation interannuelle des températures à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).....	28
FigII.6 : Variation mensuelle des températures à la station d'Aïn Temouchent.....	29
Fig II.7: Diagramme pluvio-thermique de la station de Aïn Temouchent (1979/1980 – 2013/2014).....	30
Fig II.8: Abaque de l'indice d'aridité de De. Martonne, à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980 – 2013/2014).....	31
Fig III.1: Localisation des points d'eau étudiés au niveau du Bassin versant d'Oued El Malah.....	33
FigIII.2 : Variation du pH des points d'eaux souterraines.....	35
Fig III.3: Variation de la conductivité électrique des différents points d'eaux souterraines.....	36
Fig III.4: Variation de la minéralisation des points d'eaux souterraines.....	37
Fig III.5 : Variation du résidu sec des différents points d'eaux souterraines.....	37
Fig III.6: Variation du pH des différents points d'eaux superficielles.....	38
Fig III.7: Variation de la conductivité électrique des différents points d'eaux superficielles.....	39
Fig III.8: Variation de la minéralisation des différents points d'eaux superficielles.....	39
Fig III.9: Variation du résidu sec des points d'eaux superficielles.....	40
Fig III.10.a : Représentation des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	44
Fig III.10.b : Représentation des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	45
Fig III.11 : Représentation des eaux des alluvions quaternaires sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	46
Fig III.12.a : Représentation des eaux du Plio-Quaternaire du faciès bicarbonté sodique et sulfaté sodique sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	47
Fig III.12.b : Représentation des eaux du Plio-Quaternaire du faciès chloruré sodique sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	48

LISTE DES FIGURES

Fig III.13 : Représentation des eaux du Pliocène sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	49
Fig III.14 : Représentation des eaux du Miocène sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	50
Fig III.15 : Représentation des eaux de l'Oligo-Miocène sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	51
Fig III.16: Classification des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah selon le diagramme de Piper.....	52
Fig III.17 : Classification des eaux des alluvions quaternaires selon le diagramme de Piper.....	54
Fig III.18: Classification des eaux du Plio-Quaternaire selon le diagramme de Piper....	55
Fig III.19: Classification des eaux de Pliocène selon le diagramme de Piper	56
Fig III.20: Classification des eaux de Miocène selon le diagramme de Piper.....	57
Fig III.21: Classification des eaux d'Oligo-Miocène selon le diagramme de Piper.....	58
Fig III.22: Histogramme présente les variations de Kelly's Ratio	60
Fig III.23: Variations du Na%.....	62
Fig III.24: Diagramme de Wilcox.....	63
Fig III.25: S.A.R des eaux du bassin versant d'Oued El Malah.....	65
Fig IV.1 : la boîte à moustaches pour les cations et les anions de faciès chloruré sodique et potassique.....	70
Fig IV.2: la boîte à moustaches pour les cations et les anions de faciès bicarbonaté sodique et potassique.....	71
Fig IV.3 : la boîte à moustaches pour les cations et les anions de faciès sulfaté sodique et potassique.....	72
Fig IV.4 : la boîte à moustaches pour les cations et les anions de faciès chloruré calcique.....	73
Fig IV.5 : la boîte à moustaches pour les cations et les anions de faciès chloruré Magnésienne.....	74
Fig IV.6 : la boîte à moustaches pour le faciès générale du bassin versant d'Oued El Malah.....	75
Fig IV.7 : Valeurs propres de la matrice de corrélation.....	77
Fig IV.8: Projection des variables dans le plan factoriel F1-F2 des eaux du bassin versant d'Oued El Malah.....	79
Fig IV.9: Projection des variables dans le plan factoriel F1-F3 des eaux du bassin versant d'Oued El Malah.....	79
Fig IV.10 : Projection (individus) des points d'eau sur le premier plan factoriel (F1 – F2).....	80
Fig IV.11 : Projection des points d'eau sur le plan factoriel F1 – F3.....	81
Fig IV.12 : Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des points d'eau par la méthode de Ward.....	83
Fig IV.17 : Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des points d'eau par la méthode de lien complet.....	85

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux :

Tableau.I.1: Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued El Malah.....	8
Tableau.I.2: Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant d'Oued El Malah.....	11
Tableau.I.3 : Altitudes caractéristiques du bassin versant d'Oued El Malah.....	12
Tableau.I.4: Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification de l'ORSTOM.....	13
Tableau.I.5: Classification du chevelu hydrographique selon le système de Strahler...	15
Tableau.I.6: Rapport de confluence.....	17
Tableau.I.7: Rapport des longueurs.....	18
Tableau I.8 : les résultats obtenus d'après l'étude morphométrique.....	19
Tableau.II.1: Présentation de la station de Aïn Temouchent (I.T.M.A).....	25
Tableau.II.2: Valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Temouchent(1979/1980-2013/2014).....	25
Tableau.II.3: Valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).....	26
Tableau.II.4: Valeurs des précipitations saisonnières à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).....	27
Tableau.II.5 : Variation interannuelle de la température (1979/1980-2013/2014).....	28
Tableau II.6 : variation moyenne mensuel de la température.....	29
Tableau II.7 : Valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles (1979/1980-2013/2014).....	29
Tableau.II.8: Indice d'aridité de De.Martonne (1979/1980-2013/2014).....	30
Tableau.II.9: Indices d'aridité mensuels de De. Martonne.....	31
Tableau.II.10: Indice annuel de Moral.....	32
Tableau III.1: Classification des eaux selon le pH (J.Rodier, 2009).....	34
Tableau.III.2 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité (J.Rodier , 2009)...	35
Tableau III.3: le résultat de la minéralisation.....	35
Tableau.III.4: Potabilité en fonction du résidu sec (Rodier, 2009).....	38
Tableau III.5 : Résultats des analyses chimiques.....	40
Tableau.III.6: Classification des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah selon leurs faciès.....	42
Tableau.III.7: Classification des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah selon leurs faciès.....	42
Tableau III.8 : Classification des eaux d'Oued El Malah selon le KR.....	59
Tableau III.9 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na.....	60
Tableau III.10 : Classification des eaux d'irrigation d'Oued El Malah selon le %Na...	61
Tableau.III.11: Valeurs du S.A.R et de la conductivité pour les eaux du bassin versant d'Oued El Malah.....	64
Tableau.III.12: Classification des eaux destinées à l'irrigation.....	66
Tableau III.13: les rapports caractéristiques.....	67
Tableau IV.1: caractéristiques statistiques de faciès chloruré sodique et potassique pour les cations et les anions	70
Tableau IV.2: caractéristiques statistiques de faciès bicarbonaté sodique et potassique pour les cations et les anions	71
Tableau IV.3: caractéristiques statistiques de faciès sulfaté sodique et potassique pour les cations et les anions	72
Tableau IV.4: caractéristiques statistiques de faciès chloruré calcique pour les cations et les anions	73
Tableau IV.5: caractéristiques statistiques de faciès chloruré Magnésienne pour les cations et les anions	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV.6: caractéristiques statistiques de faciès général du bassin versant d'Oued El Malah.....	75
Tableau IV.7: Matrice de corrélation des paramètres chimiques des eaux de bassin versant d'El Malah.....	76
Tableau IV.8 : Valeurs propres des axes et leurs contributions.....	77
Tableau IV.9 : Corrélation entre les variables et les axes.....	78
Tableau IV.10 : Décomposition de la variance pour la classification optimale par la méthode de Ward.....	84
Tableau IV.11 : classification des points d'eau par classes et les caractéristiques correspondants.....	84
Tableau IV.12 : Décomposition de la variance pour la classification optimale par la méthode de lien complet.....	85
Tableau IV.13 : classification des points d'eau par classes et les caractéristiques correspondants.....	86

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé.....	I
Liste des abréviations.....	III
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VII
Table des matières	IX
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I: Présentation de la zone d'étude.	
I.1. Cadre géographique général.....	3
I.1.1. Situation géographique du secteur d'étude	3
I.1.2. Délimitation du bassin versant d'Oued El Malah	4
I.1.3. Principaux sous bassins versants d'Oued El Malah.....	5
I.2. Caractéristiques du bassin versant d'Oued El Malah	6
I.2.1. Caractéristiques géométriques.....	6
I.2.1.1. Surface et Périmètre du bassin	6
I.2.1.2. Indice de compacité.....	6
I.2.1.3. Rectangle équivalent	7
I.2.2. Caractéristiques topographiques (Étude du relief)	7
I.2.2.1. Courbe hypsométrique et répartition des fréquences altimétriques	7
I.2.2.2. Altitudes caractéristiques	11
I.2.2.3. Etude des pentes	12
I.2.3. Caractéristiques du réseau hydrographique.....	13
I.2.3.1. Classification du réseau hydrographique	14
I.2.3.2. Degré de développement du réseau.....	16
I.2.4. Coefficient de torrentialité	19
I.2.5. Synthèse de l'étude morphométrique	19
II. Géologie de la région.....	20
II.1. Unité du massif d'El Malah.....	20
II.2. Aspect régional du site de l'Oued El Malah.....	20
II.3. Interprétation de la carte géologique de la région.....	21
III. Hydrogéologie de région	23
III.1. Identification de l'aquifère étudiée (Aquifère des calcaires et grès de l'Oligo-Miocène).....	23

III.2. Piézométrie	23
CHAPITRE II: Etude climatique.	
I.Introduction :	25
II.1. Étude des Précipitations	25
II.1.1. Etude de la variabilité interannuelle des précipitations.....	25
II.1.2. Répartition des précipitations moyennes mensuelles.....	26
II.1.3. Répartition des précipitations saisonnières	27
II.2. Étude des températures	28
II.2.1. Variation interannuelle de la température	28
II.2.2. Variation mensuelle de la température.....	29
III. Synthèse climatique.....	29
III.1. Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausson	29
III.2. Calcul des indices climatiques.....	30
A.Indice d'aridité de De. Martonne	30
A.1. Indice d'aridité annuel (I)	30
A.2. Indice d'aridité mensuel (i)	31
B. Indice de Moral	32
IV.conclusion.....	32
CHAPITRE III: Hydrochimie.	
I.Introduction	33
II.Caractéristiques organoleptiques	34
III. Interprétation des résultats d'analyses.....	34
III.1. Paramètres physiques	34
III.1.1. Eaux souterraines.....	34
a)- Potentiel d'hydrogène (pH)	34
b)- Conductivité et minéralisation	35
c)- Résidu sec	37
III.1.2. Eaux superficielles.....	38
a)- Potentiel d'hydrogène (pH)	38
b)- Conductivité et minéralisation	38
c)- Résidu sec	39
Contrôle des analyses chimiques par la balance ionique.....	40
IV Détermination des faciès chimiques	41
V.Représentation graphique des faciès hydrochimiques	43
V.1. Diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	43
V.1.1. Eaux superficielles.....	43

V.1.2. Eaux souterraines.....	45
A. Eaux des alluvions quaternaires.....	45
B. Eaux du Plio-Quaternaire.....	45
C. Eaux du Pliocène	46
D. Eaux du Miocène	46
E. Eaux d'Oligo-Miocène	46
V.2. Diagramme de PIPER.....	52
V.2.1. Eaux superficielles.....	52
V.2.2. Eaux souterraines.....	53
VI. Aptitude des eaux à l'irrigation	59
VI.1. Indice de Kelly's Ratio (KR).....	59
VI.2. pourcentage du sodium (Na%) et classification des eaux par la méthode de Wilcox ...	60
VI.3. Sodium Alkalinity Ratio" SAR"	63
V. Rapports caractéristiques	67
IV. Conclusion.....	68
 CHAPITRE IV: Application des tests statistiques aux données hydrochimiques.	
I. Introduction	69
II. Boite à moustaches de Tukey	69
II.1. Principe de la boite à moustaches	69
II.2. Objectif de la boite à moustaches	69
II.3. L'étude des faciès chimique par la boite à moustaches	69
II.3.1. Boite à moustaches pour le faciès Chloruré sodique et potassique.....	69
II.3.2. Boite à moustaches pour le faciès Bicarbonaté sodique et potassique.....	70
II.3.3. Boite à moustaches pour le faciès sulfaté sodique et potassique	71
II.3.4. Boite à moustaches pour le faciès chloruré calcique	72
II.3.5. Boite à moustaches pour le faciès chloruré Magnésien	73
II.3.6. Boite à moustaches pour l'ensemble des échantillons du bassin versant d'Oued El Malah.....	74
I. L'analyse en composantes principales (A.C.P.).....	75
III.1. Principe de l'ACP.....	76
III.2. L'objectif de l'ACP	76
III.3. Application et résultat.....	76
III.3.1. Matrice de corrélation.....	76
III.3.2. Analyse des graphiques	78
III.3.2.1. Espace des variables	78
III.3.2.2. Espaces des individus	80

III. Classification ascendante hiérarchique (C.A.H.).....	81
IV.1. Principe de la classification ascendante hiérarchique.....	82
IV.2. Objectif de la classification ascendante hiérarchique.....	82
IV.3. Différentes mesures de ressemblance entre groupe d'individus	82
VI.3.1. Saut minimum ou lien simple.....	82
IV.3.2. Lien complet.....	82
IV.3.3. Critère de Ward	82
IV.4. Le choix de mesure de ressemblance	82
IV.5. Qualité d'une partition.....	83
IV.6. Représentation des résultats	83
IV.6.1. Méthode de Ward	83
IV.6.1.1. Dendrogramme	83
IV.6.1.2. Décomposition de la variance pour la classification optimale	84
IV.6.1.3. Résultat par objet.....	84
IV.6.2. Méthodes du lien complet	85
IV.6.2.1. Dendrogramme	85
IV.6.2.2. Décomposition de la variance pour la classification optimale	86
IV.6.2.3. Résultat par objet.....	86
V. Conclusion.....	87
Conclusion générale.....	87
Recommandations.....	88
Annexes.....	89
Références bibliographiques.....	95

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'eau tient une place particulièrement importante dans notre vie, nous la trouvons en effet dans toutes les activités qui rythment nos quotidiens tels que la cuisine, linge, toilettes et douches, en ajoutant à ces rythmes l'agriculture et l'industrie, cette dernière utilise l'eau comme source de refroidissement, de transport ou de dilution. L'eau est aussi une source d'énergie ou une source froide peu coûteuse.

Cette substance est un bien précieux, rare puisqu'il ne représente que 0,26 % d'eau douce sur la surface du globe et est de plus en plus coûteux, elle est indispensable à la vie et aux comforts des hommes, comme elle peut être la raison de la mort si elle n'est pas soumise à des normes qu'elle que soit son domaine d'utilisation, industrie, irrigation et consommation « **Eau potable** ».

Les ressources en eau souffrent des pressions qu'exercent sur elles les activités humaines. L'extension des terres agricoles irriguées et l'utilisation de techniques d'irrigation non économes, la diversification des produits agricoles, l'urbanisation, le développement industriel et le tourisme sont parmi les nombreux facteurs qui contribuent à augmenter la pression sur les ressources en eau, et sont aggravés par les effets incertains du changement climatique. Il n'en demeure pas moins que la qualité de ces eaux présente, néanmoins, un intérêt majeur.

La qualité chimique des ressources en eau a connu une grande détérioration à cause de la pollution croissante due à des rejets domestiques et industrielles et aussi à l'utilisation non contrôlée des engrais, en outre le gaspillage de l'eau et l'exploitation désordonnée des ressources en eau présentent un autre enjeu sur notre source de vie.

L'importance de l'eau en tant que ressource vitale et facteur de développement est mondialement reconnue, la protection de cette ressource nous amène à évaluer les paramètres qui jouent un rôle important dans l'écoulement des eaux superficielles. Ces paramètres englobent les caractéristiques géologiques, géomorphologiques, hydrologiques, climatiques et hydrochimiques, dont nous nous intéresserons, dans la présente étude.

Le travail s'articule sur quatre chapitres :

Le premier chapitre s'intéresse à une présentation de certaines caractéristiques de la zone d'étude (la situation géographique, l'étude morphométrique, l'étude hydrogéologique, et la géologie de la région).

Le deuxième chapitre étudie les caractéristiques climatiques (précipitations et températures) de la région d'étude.

Le troisième chapitre est consacré à l'interprétation des paramètres hydrochimiques basée sur les analyses des eaux, afin de suivre la qualité physico-chimique des eaux de la

INTRODUCTION GENERALE

nappe étudiée ainsi que l'évolution des différents faciès chimiques pour connaître la qualité des eaux et leurs aptitudes aux différentes utilisations.

Le quatrième chapitre consiste à établir une étude statistique par des différentes méthodes : boîte à moustaches, l'analyse en composantes principales et la classification ascendante hiérarchique, dont l'objectif de caractériser les eaux de point de vue chimique, la détermination des origines de la minéralisation et voir l'apport des méthodes statistiques dans des études hydrochimiques.

Enfin, une conclusion générale mettra le point sur les différents résultats sous forme de synthèse.

CHAPITRE I :

présentation de la zone d'étude

I.1. Cadre géographique général

La région d'étude (fig.I.1) se situe au Nord ouest algérien, elle occupe du point de vue géographique une situation privilégiée en raison de sa proximité par rapport à trois grandes villes à savoir: Oran au Nord Est (70 km du Chef lieu de la wilaya), Sidi Bel Abbès au Sud Est (70 km) et Tlemcen au Sud Ouest (75 km), ainsi qu'a sa façade maritime d'une longueur de 80 km, traversant huit communes: Beni Saf, Bouzedjar, Terga, Sidi Ben Adda, Oulhaca El Gherraba, Sidi Safi, Messaid, Ouled Kihel. La wilaya d'Aïn Temouchent s'étend sur une superficie de 237635 km². Son relief est constitué par les ensembles physiques suivants:

- La plaine de la M'leta.
- Le Sahel d'Oran (plateau de Guemra, les djebels Touila, Hammar et Touita).
- Les hautes collines de Berkeche.

A noter que la Sebkhia d'Oran traverse deux communes de la wilaya à savoir El Amria et Hassi El Ghella.



Figure I.1: Situation géographique de la région d'étude (H.P.O d'Oran).

I.1.1. Situation géographique du secteur d'étude

Le bassin versant d'Oued El Malah est situé dans la partie nord ouest du territoire national, appartient au grand sous bassin des côtières oranais, abritant le chef lieu de la wilaya d'Aïn Temouchent et ses daïras limitrophes (Terga, El Malah..), soit approximativement entre (1° 9' 24" et 1° 26' 17" W) de longitude et entre (35° 17' 22" et 35° 16' 37" N) de latitude. Il est délimité par la mer méditerranéenne au Nord, les montagnes des Berkeches au Sud, les monts de Sebàa Chioukh au Sud ouest, les monts de Tessala au Sud Est, la plaine de la M'leta à l'Est et le bassin de Ouled El Kihel à l'Ouest (fig.I.2).

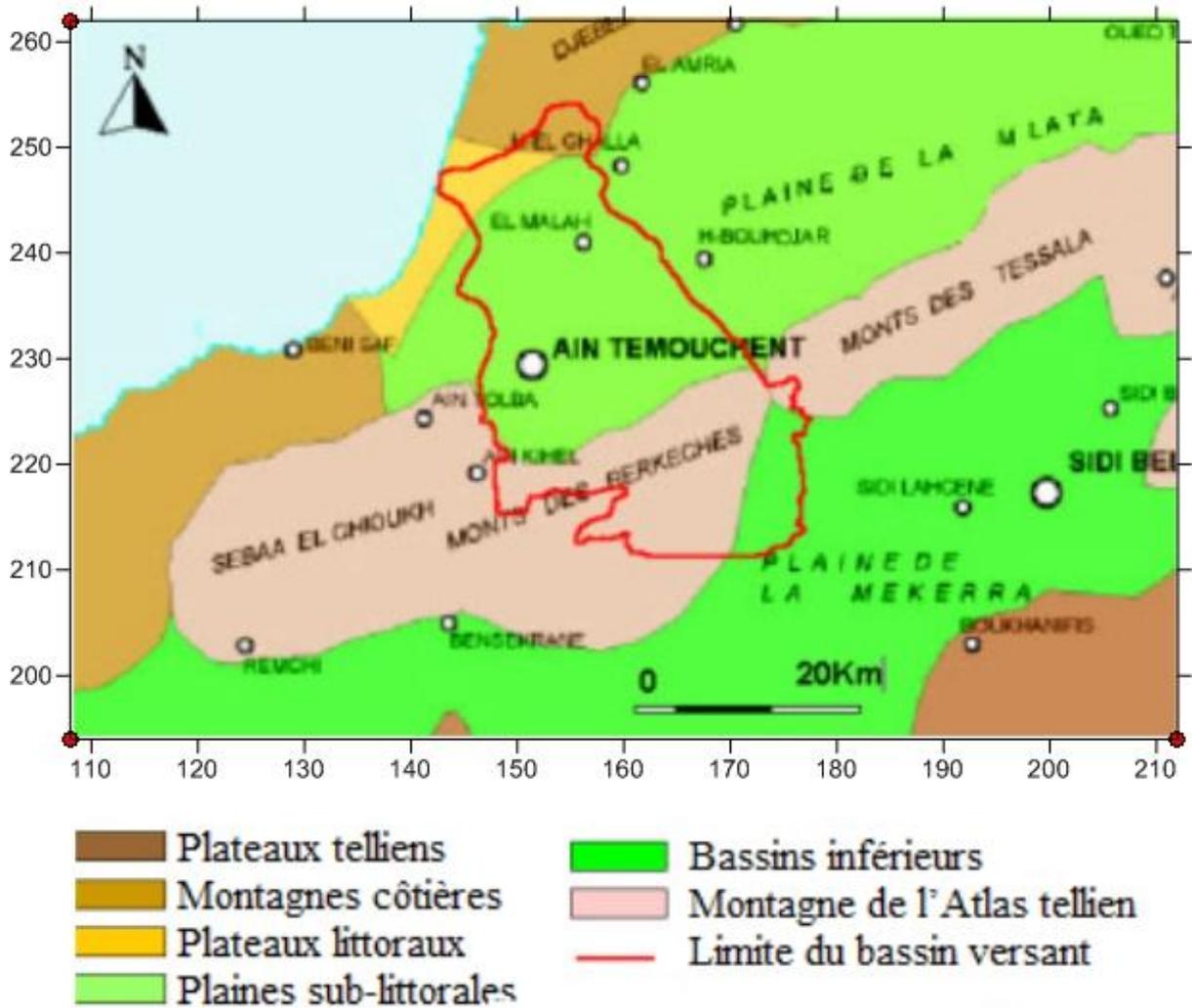


Figure I.2: Localisation du bassin versant d'Oued El Malah (Bentekhici N., 2006)

I.1.2. Délimitation du bassin versant d'Oued El Malah (fig.I.3)

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite (ADJIM H., 2003). Il est caractérisé par le contour qui passe par les crêtes des collines, qu'on appelle (Ligne de partage des eaux), on parle alors de bassin versant topographique délimité par la ligne des crêtes.

Le tracé de la ligne de crête est une opération délicate qui se fait sur la carte topographique de la région d'Aïn Temouchent qui englobe le bassin versant d'Oued El Malah à l'échelle: 1/100 000.

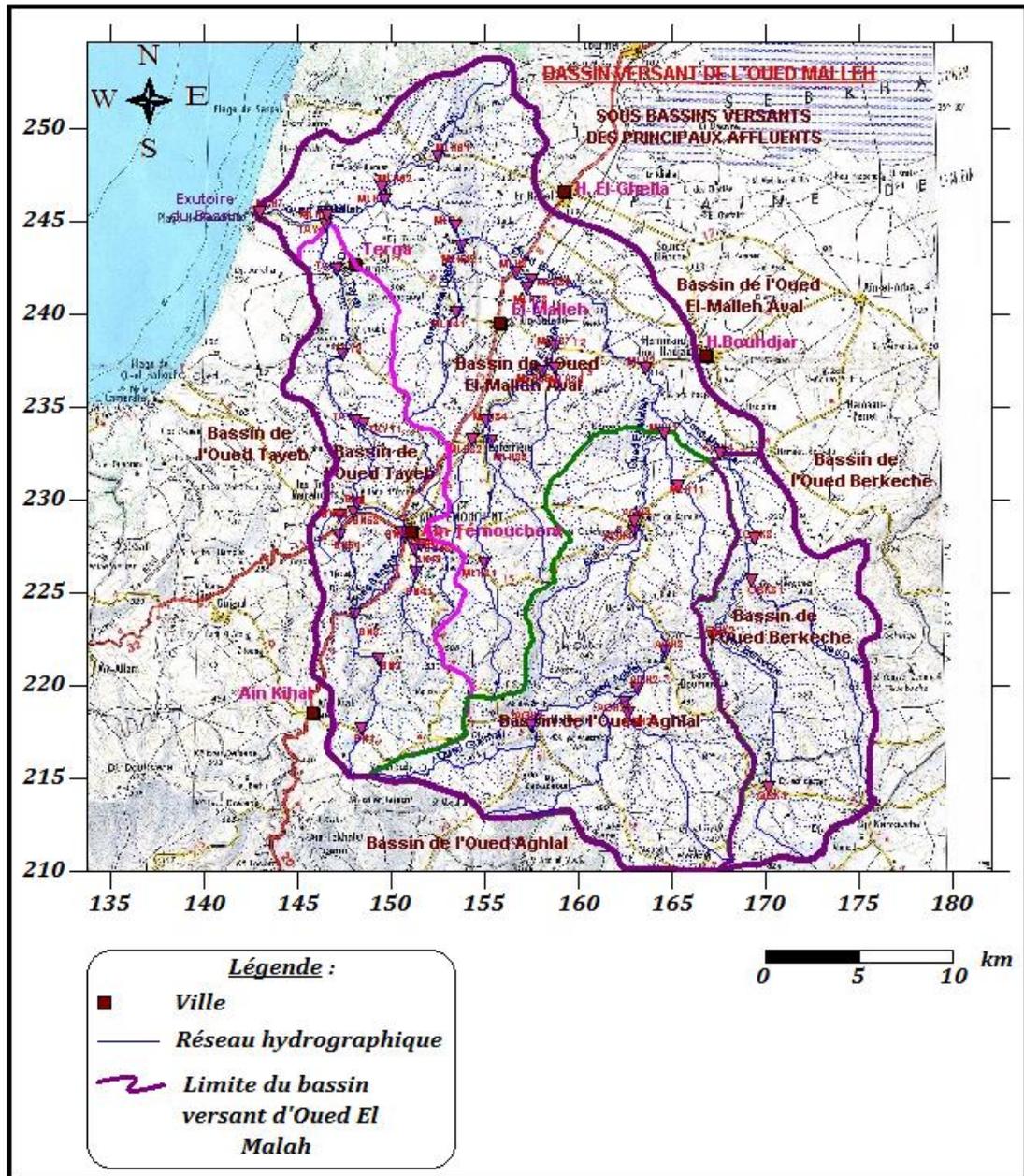


Figure I.3: Délimitation du bassin versant d'Oued El Malah (H.P.O, 2005)

I.1.3. Principaux sous bassins versants d'Oued El Malah

Le bassin versant contient quatre grands sous bassins (bassins élémentaires) correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal (fig. I.4):

- Le bassin d'Oued El Malah Aval d'une superficie de 335,32 km².
- Le bassin d'Oued Aghlal d'une superficie de 240,92 km².
- Le bassin d'Oued Tayeb d'une superficie de 162,47 km².
- Le bassin d'Oued Berkeche d'une superficie de 134,73 km².

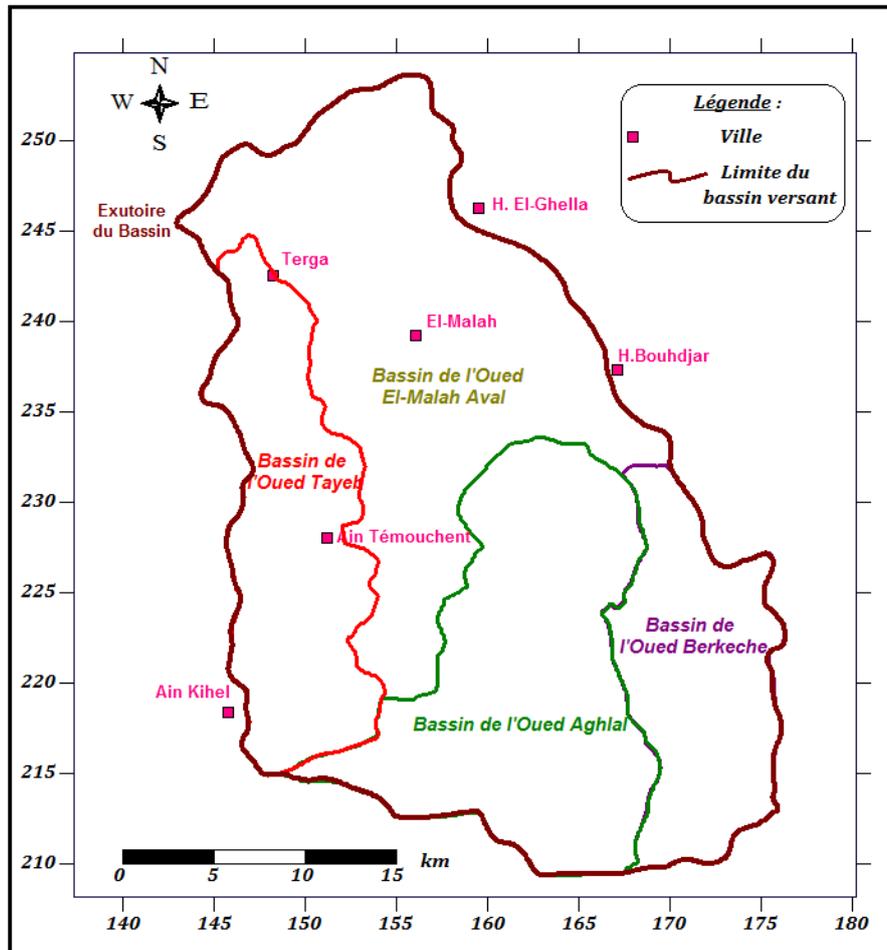


Figure I.4: Délimitation des principaux sous bassins d'Oued El Malah (H.P.O, 2005).

I.2. Caractéristiques du bassin versant d'Oued El Malah

I.2.1. Caractéristiques géométriques

I.2.1.1. Surface et Périmètre du bassin

La surface est la portion du plan délimitée par les lignes de crête, ou contour du bassin, et le périmètre est la longueur de la ligne de contour du bassin.

La superficie et le périmètre du bassin versant d'Oued El Malah ont été déterminés sur la carte topographique au 1/100 000 par digitalisation des contours de ce dernier. (Annexe I)

- Superficie : 873,45 km².
- Périmètre : 138,32 km.

I.2.1.2. Indice de compacité

L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard.

C'est ainsi que Gravelius a proposé le coefficient de compacité "compactness coefficient" défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Si le périmètre du bassin est noté P et sa surface A, le coefficient de compacité s'exprime par:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donc Kc=1,31, cette valeur montre que le bassin d'Oued El Malah est de forme moyennement allongée, Cette forme induit de faibles débits de pointe de crue.

I.2.1.3. Rectangle équivalent

Cette notion a été introduite par M. Roche pour pouvoir comparer les bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

On suppose que l'écoulement sur le bassin est le même que sur le rectangle, de même superficie, ayant le même indice de Gravelius, la même répartition hypsométrique et la même distribution des sols, de la végétation et la densité de drainage.

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel : le bassin devient un rectangle les courbes de niveau des droites parallèles à petites côtes du rectangle équivalent et l'exutoire un des petites côtes du rectangle.

$$L = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

Donc: Longueur $L=52,498$ Km et Largeur $l=16,638$ Km

I.2.2. Caractéristiques topographiques (Étude du relief)

Le relief joue un rôle important dans le comportement hydrologique du bassin versant.

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures... etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement, le temps de concentration des eaux, et le taux d'infiltration. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices suivants :

I.2.2.1. Courbe hypsométrique et répartition des fréquences altimétriques

Partant de la répartition par tranches d'altitudes du bassin versant d'Oued El Malah, nous avons pu établir la courbe hypsométrique et le diagramme des fréquences altimétriques.

A. Répartition hypsométrique

Dans la description d'un bassin, on donne également sa répartition hypsométrique (diagramme des fréquences altimétriques) c'est-à-dire la fraction ou le pourcentage de la surface totale comprise entre les différentes courbes de niveau. (tableau I.1).

Tableau I.1: Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued El Malah.

Tranches d'altitudes (m)	A _i (km ²)	A _i (%)	A _i cumulées (km ²)	% A _i cumulées
0 - 50	35,24	4,034	873,45	100
50 - 100	107,5	12,31	838,21	95,966
100 - 150	106,4	12,18	730,68	83,655
150 - 200	86	9,846	624,33	71,479
200 - 250	81,27	9,304	538,34	61,634
250 - 300	59,24	6,782	457,07	52,329
300 - 350	49,94	5,717	397,83	45,547
350 - 400	47,69	5,461	347,89	39,83
400 - 450	57,35	6,566	300,2	34,369
450 - 500	57,71	6,607	242,85	27,804
500 - 550	61,62	7,055	185,14	21,197
550 - 600	58,95	6,749	123,52	14,142
600 - 650	36,85	4,219	64,572	7,3927
650 - 700	16,54	1,894	27,721	3,1738
700 - 750	7,358	0,842	11,178	1,2797
750 - 800	2,611	0,299	3,8201	0,4374
> 800	1,209	0,138	1,2094	0,1385

A_i = Surfaces partielles (superficies entre les courbes de niveau).

B. Carte hypsométrique

La carte hypsométrique donnera une idée sur la proportion des tranches d'altitudes qui procure une importance capitale pour les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude (fig.I.5).

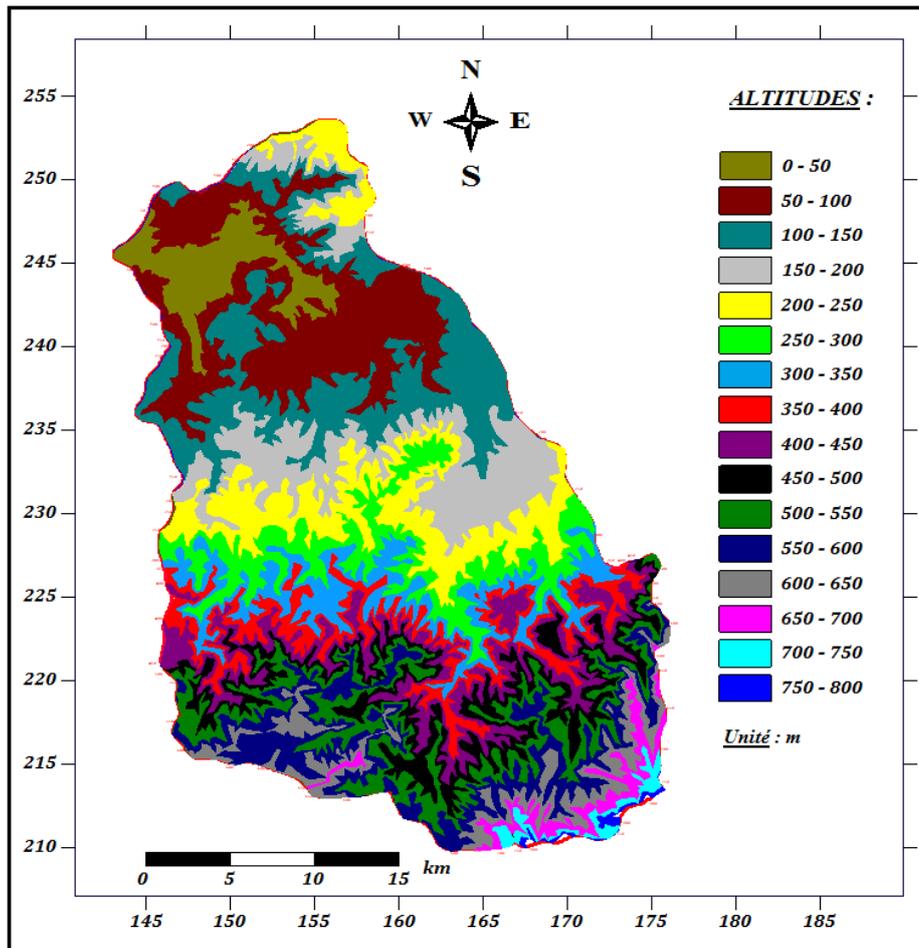


Figure I.5: Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued El Malah (H.P.O, 2005).

La figure ci-dessus met en évidence la répartition différentielle des tranches d'altitudes dont la tranche comprise entre 50 et 250m couvre 43,64% de la surface totale du bassin, cette partie est caractérisée par une pente assez faible tandis que vers l'amont car les tranches d'altitudes sont éloignées, ces dernières sont plus serrées entre 250m et 800m mettant en évidence des dénivellations et des pentes importantes.

C. Courbe hypsométrique et l'histogramme des fréquences altimétriques

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Le graphe porte en abscisses le pourcentage de surface du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnées.

La courbe hypsométrique (fig. I.6) demeure un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin.

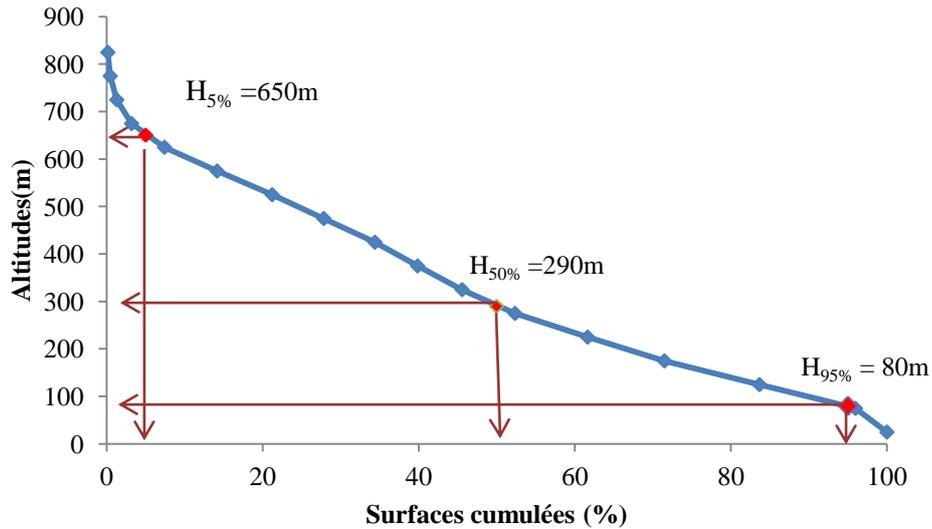


Figure I.6: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued El Malah.

La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued El Malah (fig. I.6) est de forme concave, ce qui indique que le bassin est jeune. Elle montre une accentuation progressive des altitudes vers l'amont et vers le point culminant au fur et à mesure que les pourcentages des surfaces cumulés diminuent.

A partir de la répartition altimétrique du bassin versant (fig. I.7), nous avons tiré l'altitude la plus fréquente qui se situe entre la tranche 50 - 100m, elle correspond au maximum du diagramme des fréquences altimétriques égal 12.31%.

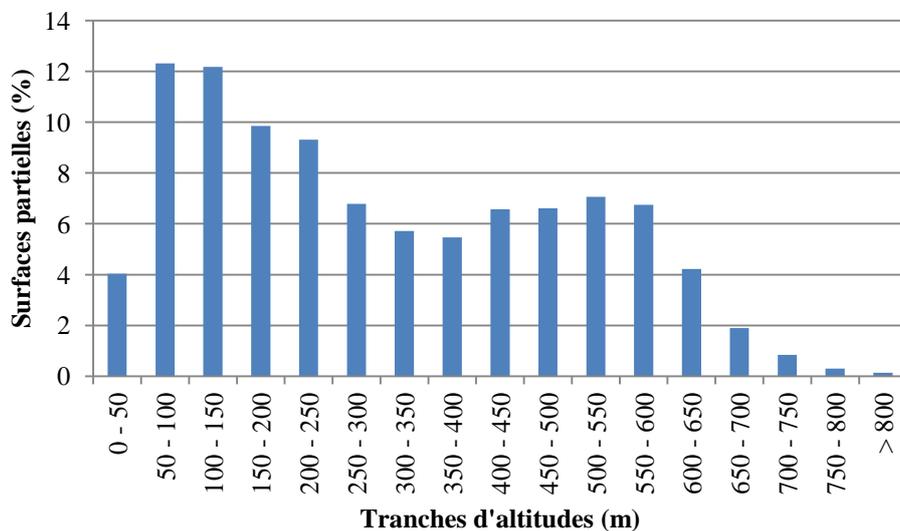


Figure I.7: Histogrammes des fréquences altimétriques du bassin versant d'Oued El Malah.

I.2.2.2. Altitudes caractéristiques

A. Altitude maximale et minimale

L'altitude maximale représente le point le plus élevé dans le bassin versant, il est égal à 824 m, par contre, celle minimale qui représente le point le plus bas dans ce bassin est égale à 0 m.

B. Altitude moyenne

C'est l'altitude qui correspond à la moyenne de la courbe hypsométrique. Elle est définie comme suit en se basant sur le tableau I.2 :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A}$$

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin (m).

A_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau (km²).

h_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

A: Superficie totale du bassin versant (km²) = 873,45 km².

Tableau I.2: Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant d'Oued El Malah.

Tranches d'altitudes (m)	Ai (km ²)	hi (m)	Ai,hi (m.km ²)	$\frac{A_i \cdot h_i}{A}$ (m)
0 - 50	35,24	25	880,979	1,00864
50 - 100	107,5	75	8064,22	9,23063
100 - 150	106,4	125	13293,8	15,2269
150 - 200	86	175	15049,4	17,2305
200 - 250	81,27	225	18285,6	20,935
250 - 300	59,24	275	16290,9	18,6513
300 - 350	49,94	325	16229	18,582
350 - 400	47,69	375	17885,5	20,4748
400 - 450	57,35	425	24372,2	27,9051
450 - 500	57,71	475	27412,1	31,3838
500 - 550	61,62	525	32351,6	37,0376
550 - 600	58,95	575	33895,3	38,8073
600 - 650	36,85	625	23031,5	26,3681
650 - 700	16,54	675	11166,8	12,782
700 - 750	7,358	725	5334,3	6,10744
750 - 800	2,611	775	2023,28	2,3167
> 800	1,209	812	982,049	1,12394
				Somme = 305,17

L'altitude moyenne est donc égale à 305,17m.

C. Altitude médiane

L'altitude médiane représente l'altitude correspondant à 50% de la surface du bassin sur la courbe hypsométrique, elle est égale à 290 m. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

Tableau I.3: Altitudes caractéristiques du bassin versant d'Oued El Malah.

Bassin versant	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude médiane (m)	Altitude moyenne (m)	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)	Altitude la plus fréquente(m)
Malah	824	0	290	305,17	650	80	50 - 100

I.2.2.3. Etude des pentes

A. Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct - donc sur le temps de concentration - et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante:

$$i_m = \frac{D \cdot L}{A}$$

Où:

i_m : Pente moyenne (m/km ou %).

D : Équidistance entre deux courbes de niveau (m).

L : Longueur totale des courbes de niveau (km).

A : Surface du bassin versant (km²).

$i_m = 187$ m/km.

La pente moyenne (187 m/km) est forte, ce qui présente une faible durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents.

Cette méthode de calcul donne de bons résultats, dans le cas d'un relief modéré et pour des courbes de niveau simples et uniformément espacées.

B. Indice global de pente

Cet indice est déterminé à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique du bassin. Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5 % de la surface totale. Il est donné par la formule :

$$I_G = \frac{D}{L}$$

D : Dénivelée (m), $D=H_{5\%} - H_{95\%}$.

L : Longueur du rectangle équivalent (km).

$D = 570$ m, donc $I_g = 10,85$ m/Km.

• **Dénivelée spécifique "D_S"**

La dénivelée spécifique donne une idée sur le relief d'un bassin versant d'après la classification de l'ORSTOM, elle est calculée par la formule suivante:

$$D_S = I_G \cdot \sqrt{A}$$

Avec:

I_G: Indice global de pente (m/km).

A: Superficie du bassin versant (km²).

I_G = 10,85 m/km et *A* = 873,45 km².

Donc:

$$D_S = 320,66 \text{ m.}$$

À partir de la dénivelée spécifique (*D_S* = 320,66 m) et en se référant au tableau ci-dessous, nous pouvons dire que ce bassin versant est d'un relief fort.

Tableau I.4: Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification de l'ORSTOM.

Relief	Valeur de D _S (m)
Relief très faible	D _S < 10
Relief faible	10 < D _S < 25
Relief assez faible	25 < D _S < 50
Relief modéré	50 < D _S < 100
Relief assez fort	100 < D _S < 250
Relief fort	250 < D _S < 500
Relief très fort	D _S > 500

I.2.3. Caractéristiques du réseau hydrographique

Il est à souligner que le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malah (fig. I.8) est relativement dense en amont du bassin pour drainer suffisamment les hautes montagnes des eaux précipitées, contrairement à la partie Nord où, les terrains sont plus ou moins plats. L'évacuation des eaux sauvages s'effectue difficilement et particulièrement dans des zones riveraines qui, constituées de dépôts alluvionnaires, ont tendance à former des dépressions humides en période de crue.

En matière de ruissellement, le réseau hydrographique du bassin d'Oued El Malah est constitué principalement de grandes artères fluviales. Il s'agit en fait d'Oued Tayeb qui, assez important, draine la partie occidentale du bassin dans les monts d'Ain Kihel (659 m), Oued Aghlal au Sud d'Aïn Temouchent, qui longe la zone montagneuse au Sud du bassin (749 m) et ruisselle même avec un faible débit d'étiage en permanence sous-alimentation continue des résurgences latérales, Oued Berkeche à l'extrême Est du bassin qui, sur un parcours de 25 km de la crête (824 m) porte le nom de Metguer avant de venir grossir Oued El Malah à l'amont immédiat de Hammam Bouhdjar. Ces deux derniers cours d'eau comme pour d'autres affluents (Oued Tine et Oued El-Ham), particulièrement de rive gauche, convergent tous en éventail pour former Oued El Malah qui longe littéralement la plaine d'Aïn Temouchent avant de collecter au dernier ressort Oued Tayeb près de l'exutoire à l'embouchure (Hydro Projet Ouest, 2005).

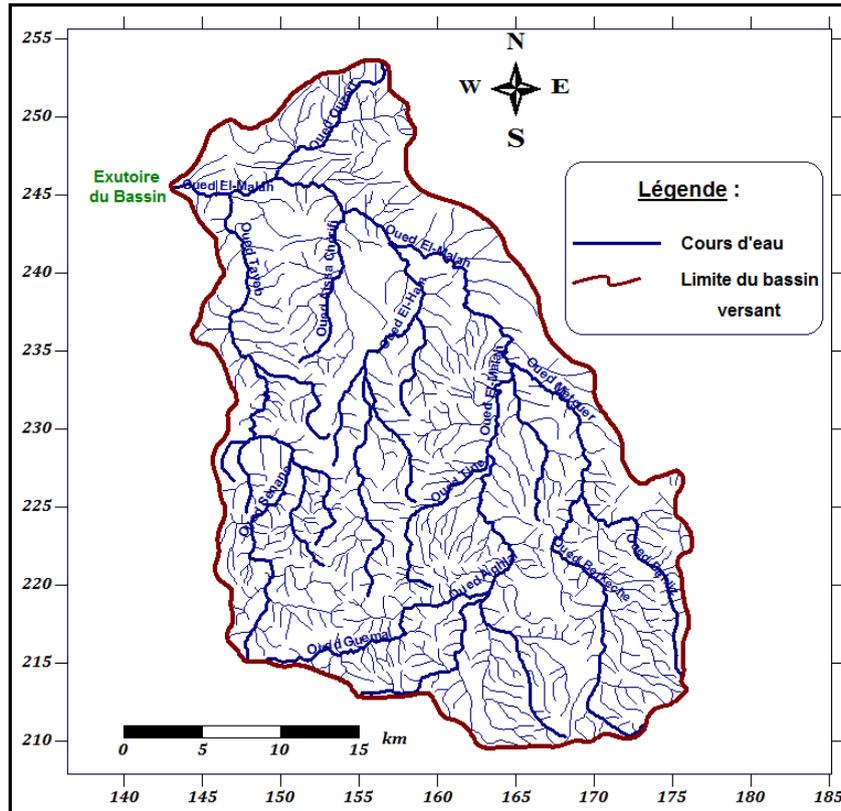


Figure I.8: Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malah (H.P.O, 2005).

I.2.3.1. Classification du réseau hydrographique

La détermination des caractéristiques du réseau hydrographique est basée sur la méthode définie par R. Horton (1945) modifiée par Strahler et Schumm (1957) dans laquelle il est indiqué que tout cours d'eau sans affluents est d'Ordre 1.

Tout cours d'eau ayant des affluents d'Ordre n est d'Ordre $n+1$ et il garde cet ordre dans toute sa longueur, ainsi qu'un cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordres différents prend l'ordre du plus élevé des deux. Le tableau I.5, illustre le classement du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malah obtenu à partir de la carte topographique au 1/100 000 qui a servi de base pour reproduire fidèlement le chevelu hydrographique (fig. I.9).

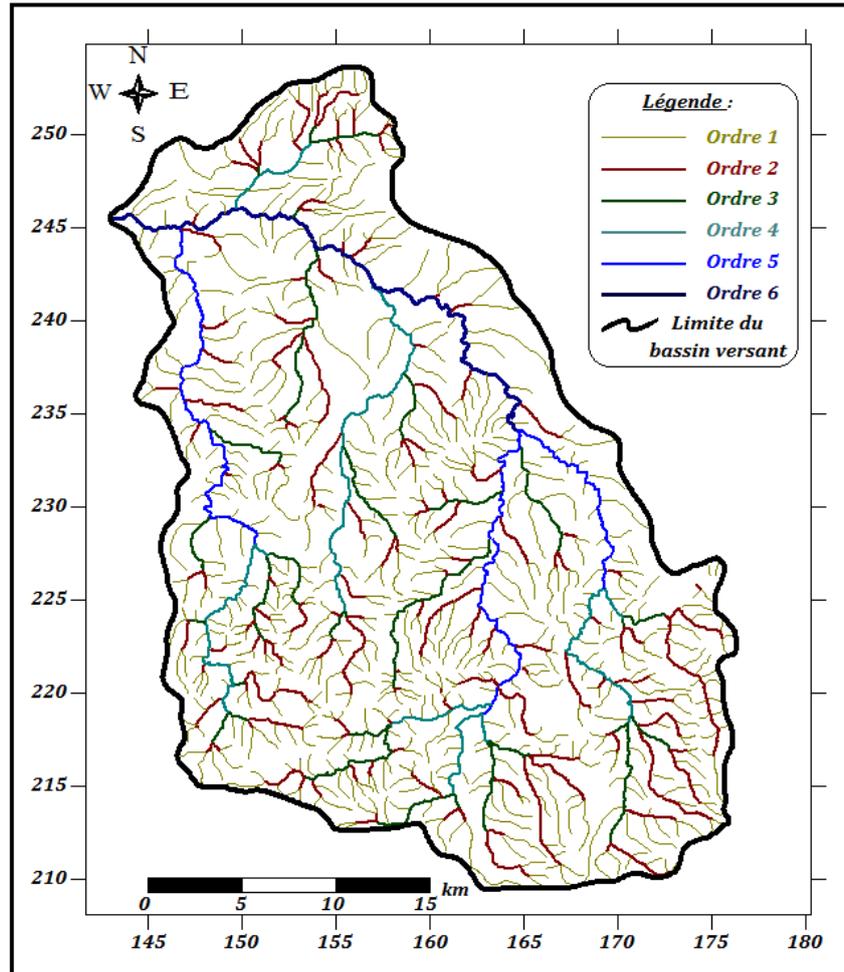


Figure I.9: Classification du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malah

Tableau I.5: Classification du chevelu hydrographique selon le système de Strahler.

Ordre	Nombre	Longueur totale (km)	Longueur moyenne "L _u " (km)	Log (nombre)	Log (L _u)
1	607	789,5	1,301	2,783	0,114
2	138	228,2	1,653	2,14	0,218
3	31	112,9	3,643	1,491	0,561
4	9	70,34	7,815	0,954	0,893
5	3	58,17	19,39	0,477	1,29
6	1	34,23	34,23	0	1,534

$$L_u = \text{Longueur totale} \div \text{Nombre.}$$

I.2.3.2. Degré de développement du réseau

A. Densité de drainage

La densité de drainage permet l'identification du chevelu hydrographique d'un bassin versant. Elle est définie comme étant la somme des longueurs des thalwegs drainant sur la surface du bassin versant. Elle est exprimée par l'équation:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Où,

D_d : Densité de drainage (km/km²).

L : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin (km).

A : Aire du bassin (km²)

$D_d = 1,48$ km/km².

La valeur de la densité de drainage permet de dire que le bassin est constitué par une formation géologique perméable, donc l'écoulement est plutôt limité et l'infiltration importante.

B. Densité hydrographique

La fréquence " F " des cours d'eau (densité hydrographique) est obtenue à partir du rapport du nombre des cours d'eau à la surface totale du bassin:

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Où:

F : Densité hydrographique (km⁻²).

$\sum N_i$: Nombre des cours d'eau.

A : Aire du bassin (km²).

$F = 0,9$ km⁻².

Cette faible valeur de densité hydrographique est due à un sol perméable, un couvert végétal important et un relief peu accidenté.

C. Rapport de confluence

Le rapport de confluence exprime le développement du réseau de drainage, il varie suivant l'ordre considéré, c'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Selon Strahler (1964), le " R_c " varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence.

$$R_c = \frac{N_u}{N_{(u+1)}}$$

Où:

N_u : Nombre de cours d'eau d'ordre " u ",

$N_{(u+1)}$: Nombre de cours d'eau d'ordre suivant.

u : Ordre d'un cours d'eau; " u " varie entre "1" et " w " (w est l'ordre du cours d'eau principal, classification de Strahler).

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

En se basant sur la classification du chevelu hydrographique du bassin versant d'Oued El Malah (tableau I.6), nous obtenons les résultats du tableau ci-dessous:

Tableau I.6: Rapport de confluence.

Ordre	Nombre	Rc
1	607	$Rc_1=N_1/N_2=607/138= 4,39$
2	138	$Rc_2=N_2/N_3=138/31= 4,45$
3	31	$Rc_3=N_3/N_4=31/9= 3,44$
4	9	$Rc_4=N_4/N_5=9/3= 3$
5	3	$Rc_5=N_5/N_6=3/1= 3$
6	1	$Rc=(Rc_1+Rc_2+Rc_3+Rc_4+Rc_5) /5 = 3,656$

* Le rapport de confluence peut être aussi déterminé grâce à la pente de la régression linéaire. En reportant sur un papier semi logarithmique (fig.1.10) le nombre des talwegs "N_u" en ordonnée et l'ordre des cours d'eau "u" en abscisse, on obtient une droite dont l'équation est de la forme suivante: $\text{Log } N_u = ax + b$.

Avec la pente:
$$a = \frac{\text{Log}(100) - \text{Log}(10)}{4 - 2,2} = 0,555.$$

La valeur de la pente "a" de la droite donne la valeur moyenne du rapport de confluence sur l'ensemble du bassin.

On a: $a = \text{Log } R_C \Rightarrow R_C = 10^a = 10^{0,555}.$

$R_C = 3,589.$

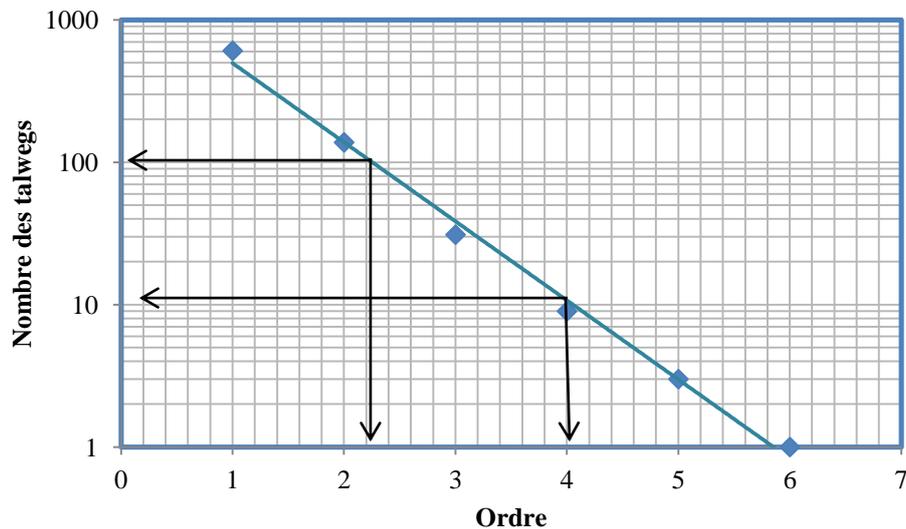


Figure I.10: Rapport de confluence.

D. Rapport des longueurs

$$R_L = \frac{L_u}{L_{(u-1)}}$$

Où:

L_u : Longueur moyenne des cours d'eau d'ordre u.

$L_{(u-1)}$: Longueur moyenne des cours d'eau d'ordre u-1.

u: Ordre d'un cours d'eau.

La longueur moyenne des cours d'eau d'ordre u est la division de la longueur totale descours d'eau d'ordre u par le nombre de cours d'eau de cet ordre.

En s'appuyant sur la classification du chevelu hydrographique du bassin d'Oued El Malah selon le système de Strahler (tableau I.5), nous obtenons les résultats représentés au tableau I.7.

Tableau I.7: Rapport des longueurs.

Ordre	Longueur	R_L
6	34,225	$R_{L6}=L_6/L_5=34,225/19,388=1,76$
5	19,388	$R_{L5}=L_5/L_4=19,388/7,815=2,48$
4	7,815	$R_{L4}=L_4/L_3=7,815/3,642=2,14$
3	3,642	$R_{L3}=L_3/L_2=3,642/1,653=2,2$
2	1,653	$R_{L2}=L_2/L_1=1,653/1,3=1,27$
1	1,3	$R_L=(R_{L6}+R_{L5}+R_{L4}+R_{L3}+R_{L2})/5 = 1,97$

Nous pouvons aussi déterminer le rapport des longueurs à partir de la pente de la régression linéaire, en reportant sur un papier semi logarithmique (fig.I.11) la longueur moyenne des cours d'eau " L_u " en ordonnée et l'ordre "u" en abscisse.

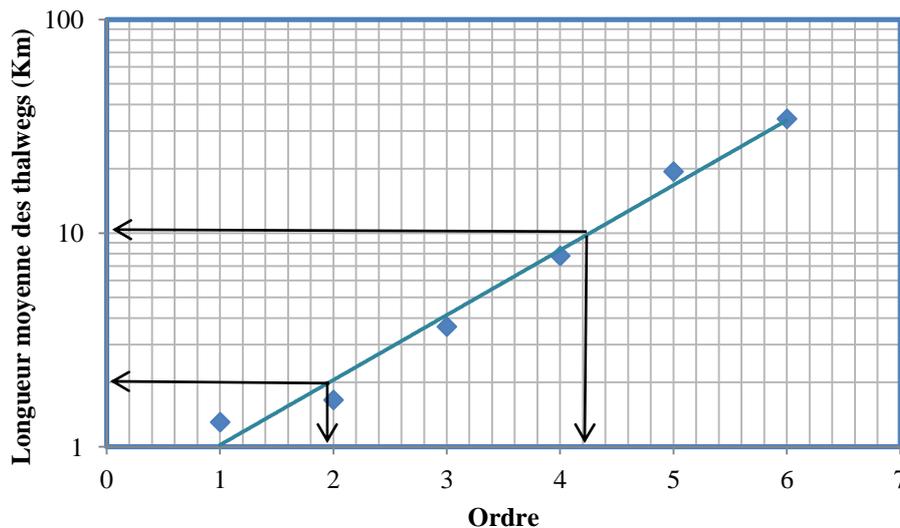


Figure I.11 : Rapport des longueurs.

Nous obtenons une droite dont l'équation est de la forme: $\text{Log } L_u = ax + b$.

Avec la pente: $a = \frac{\text{Log}(10) - \text{Log}(2)}{4,2 - 1,95} = 0,3106$.

La valeur de la pente de la droite donne la valeur moyenne du rapport des longueurs sur l'ensemble du bassin.

Nous avons: $a = \text{Log } R_L \Rightarrow R_L = 10^a = 10^{0,3106}$.

$$R_L = 2,04.$$

I.2.4. Coefficient de torrentialité

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage :

$$C_T = D_d \cdot F_1$$

Où:

D_d : Densité de drainage (km/km²).

F_1 : Fréquence des thalwegs élémentaires $F_1 = N_1 \div A$ avec; N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre "1" et A : surface du bassin (km²).

$N_1 = 607$, $A = 873,44601 \text{ km}^2 \Rightarrow F_1 = 0,694$ et $D_d = 1,48 \text{ km/km}^2$.

$C_T = 1,027$.

La basse valeur du coefficient de torrentialité ($C_T = 1,027$) est liée soit à la faiblesse des précipitations ou encore à la forte perméabilité des sols, cette faible valeur est due aussi à la difficulté de représenter tous les thalwegs d'ordre inférieur qui représentent une partie importante du réseau hydrographique.

I.2.5. Synthèse de l'étude morphométrique

Tableau I.8 : Résultats obtenus d'après l'étude morphométrique.

S (Km ²)	P (Km)	H max (m)	H min ((m)	H moy (m)	H méd (m)	i moy (m/Km)	Ig (m/Km)	Ds (m)	Dd (Km ⁻¹)	Kc
873,45	138,32	824	0	305,17	290	187	10,85	320,66	1,48	1,31

D'après l'étude morphométrique, le bassin d'Oued El Malah présente une forme moyennement allongée, une superficie de 873,45 km²; un périmètre de 138,32 km, un bassin en état d'équilibre, un relief fort et une pente globale plus ou moins forte avec un chevelu hydrographique d'une hiérarchisation moyenne, une formation dans son ensemble perméable ainsi qu'un temps de concentration de ruissellement moyen ce qui favorise l'infiltration des eaux de pluie.

II. Géologie de la région

La zone d'étude fait partie du Tell septentrional où affleure différentes formations géologiques allant du Paléozoïque, au Quaternaire. La région étudiée appartient au plateau d'Aïn Temouchent qui correspond à une terrasse néogène et quaternaire, faiblement inclinée vers la mer à travers laquelle percent des îlots secondaires qui créent des accidents sur la topographie généralement calme. Le long de sa bordure septentrionale, le plateau d'Aïn Temouchent est bordé par une ligne de reliefs côtiers secondaires découpés en plusieurs pointements séparés par des étendues de formations néogènes.

Dans cette étude nous allons faire une synthèse des formations retrouvées à partir des travaux de G.Thomas, 1985.

II.1. Unité du massif d'El Malah

Il s'agit des massifs de Sidi Kassem, Mendjel, et Tounit (Aïcha Touila), appartenant à une unité charriée sur le para-autochtone de la région d'Aïn Temouchent. Le contact est souvent jalonné par le Trias qui est représenté par des roches vertes, pélites violacées, dolomies noires. Ces massifs sont marqués par la présence de métamorphisme et de déformation intense. On connaît deux formations:

- Les formations carbonatées linéament

Attribuées à la base du Jurassique, elles comprennent dans le Djebel Sidi Kassem des calcaires massifs finement rubanés, intensément recristallisés et très plissés avec un affleurement local du silex par contre la formation est presque entièrement dolomitisée dans le Djebel Mendjel, cette dolomitisation conçoit par endroits des calcaires sombres, à silex noires, des calcaires clairs à silex clair et des calcaires à lits schisteux, prenant l'aspect de "peau de serpent". Quelques passages dans ces calcaires sont peu transformés.

- Les formations schisteuses

Sont en contact anormal avec les calcaires d'âge jurassique moyen à supérieur, les schistes correspondent à d'anciennes pélites finement litées à niveau quartzeux très fins. Ils sont très métamorphisés dans le Djebel Sidi Kassem, verdâtres et beaucoup moins recristallisés dans le Djebel Mendjel.

La différence entre les schistes de Sidi Kassem et ceux du Djebel Mendjel serait essentiellement due au métamorphisme plus intense dans le premier affleurement.

II.2. Aspect régional du site de l'Oued El Malah

Du point de vue géologique le site est caractérisé par une formation alluvionnaire à caractère sableux limoneux très friable, le site se trouve sur une zone à marais ce qui laisse confirmer la salinité des eaux d'Oued El Malah à cet endroit plus précisément.

Une végétation abondante caractérise les berges d'Oued El Malah, ce qui cause un problème de visibilité des formations géologiques.

Le lit mineur de l'Oued est représenté par des alluvions récentes indifférenciées correspondant aux dépôts de l'Oued, masqué par une végétation abondante.

La berge gauche est constituée d'un glaciais récent encroûté formant les terres végétales rougeâtres, cette formation est bien développée sur cette berge.

La berge droite est représentée par l'apparition d'une formation marneuse, masquée par une couche végétale.

Par ailleurs la géologie du site de l'affluent Souf et Tell est caractérisée par des roches éruptives plus spécialement les basaltes ou basanites souvent altérés en surface qui sont des produits pyroclastiques, et des alluvions pré volcaniques qui forment un glacis sur lequel reposent les volcans pléistocènes.

II.3. Interprétation de la carte géologique de la région

La carte géologique ci-dessous (fig.I.12) présente généralement une tectonique cassante dans la région d'Aïn Temouchent, telles que les failles normales (5 à 19°) dans le Miocène post-nappe, les formations de Mettmoura, et aussi les formations du Bel Hacel, et les décrochements évident dans la nappe Telliennes et Miocène anté et synchronappe, les Glacis d'ablation SPI, et aussi les épanchements alcalins Plio-pléistocènes.

D'après l'étude géologique du massif d'Aïn Temouchent, on parvient à supposer quelques arguments structuraux et paléogéographiques concernant l'autochtone de ce massif:

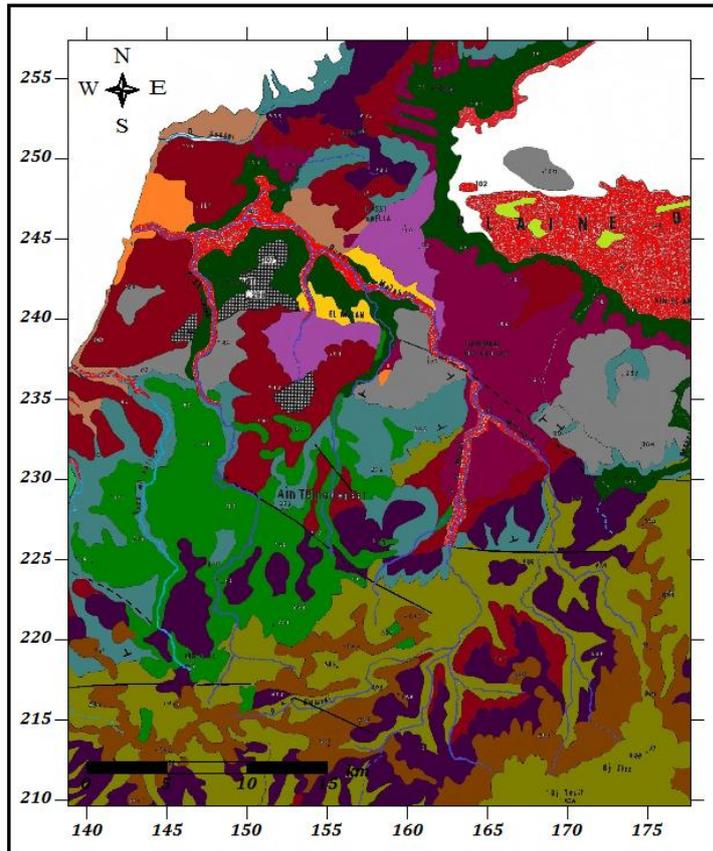
- Arguments structuraux:

Dans la région d'Aïn Temouchent, les pélites, grès et calcaires du Jurassique supérieur sont situées d'après P. Guardia sous la nappe de type Rifain de l'unité d'El Malah et sous quelques lambeaux de nappes de type tellien. Les contacts avec les unités alloctones sus-jacentes sont subhorizontaux et le plus souvent soulignés par le matériel triasique. Cet ensemble inférieur, qui possède les caractères stratigraphiques des unités de type Rifain, n'en possède pas la complexité structurale. Aucune schistosité, aucun contact tangentiel n'ont pu y être décalé. (P. Guardia, 1975).

- Arguments paléogéographiques:

Si l'ensemble inférieur d'Aïn Temouchent est autochtone au Miocène moyen, cette région était émergée. Le Miocène synchronappe connu plus à l'Est dans les fenêtres Nord des Tessala (B. Fenet et J. Magué, 1973) y possède des passages conglomératiques à galets de calcaires, de dolomies et de quartzites qui ne peuvent que provenir au moins en partie, du démantèlement d'une zone émergée située soit au Nord Ouest, soit au Sud de la région (de Hauts plateaux). Cette seconde possibilité est jugée par B. Fenet comme très improbable en raison de la continuité du bassin synchro-nappe entre le Nord des Tessala et les Hauts plateaux et de l'absence de poudingues dans tout le Miocène de ce bassin. Rien ne s'oppose donc à ce que l'ensemble inférieur d'Aïn Temouchent ait appartenu à une zone émergée pendant le Miocène. Pendant le Secondaire, la série stratigraphique jurassique supérieur de l'ensemble d'Aïn Temouchent présente de nombreuses similitudes avec celles des régions qui l'encadrent, la bordure orientale de la chaîne du Fillaoussène au "Nord Ouest" et l'autochtone de la région oranaise (B.Fenet, 1973) au "Nord Est". La partie méridionale du "Sillon Tellien" a donc pendant la période Jurassique supérieur, une sédimentation de type grésopélique avec de rares épisodes carbonatés. Dans le contexte paléogéographique l'autochtonie de l'ensemble inférieur d'Aïn Temouchent est justifiée (P. Guardia, 1975).

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



*

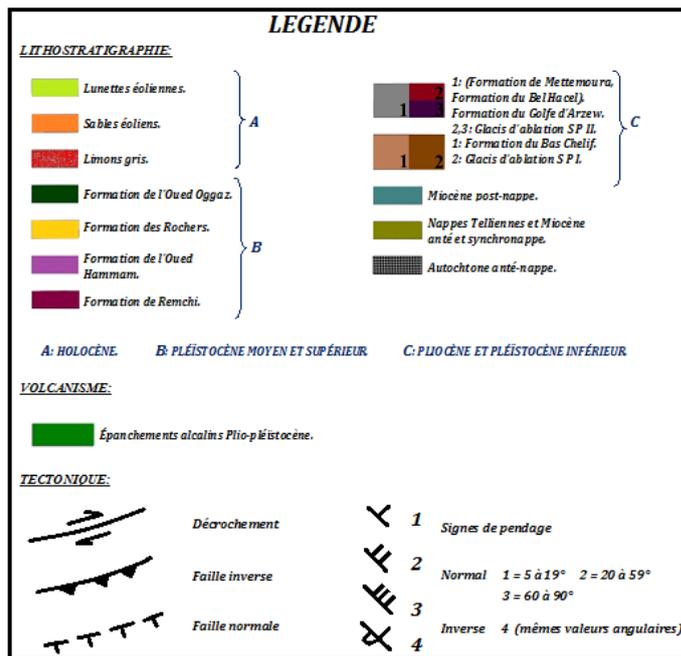


Figure I.12: Carte géologique de la région d'Aïn Temouchent (G. Thomas, 1985).

III. Hydrogéologie de région

La carte hydrogéologique a été établie à partir de la carte géologique au 1/ 250 000 et les différents points d'eau sont reportés en annexe II, la campagne piézométrique a été exécutée en période de hautes eaux par la Direction des Ressources en Eau d'Aïn Temouchent (D.R.E,2005).

III.1. Identification de l'aquifère étudiée (Aquifère des calcaires et grès de l'Oligo-Miocène)

Il s'agit d'alternance de marnes, de calcaire gréseux et grès à ciment calcaire qui affleurent au niveau d'Aghlal et Oued Berkeche. Cet aquifère ne présente que des nappes perchées et superposées d'extension réduite, donnant naissance à des sources de déversement de faibles débits (H.P.O Oran, 2005).

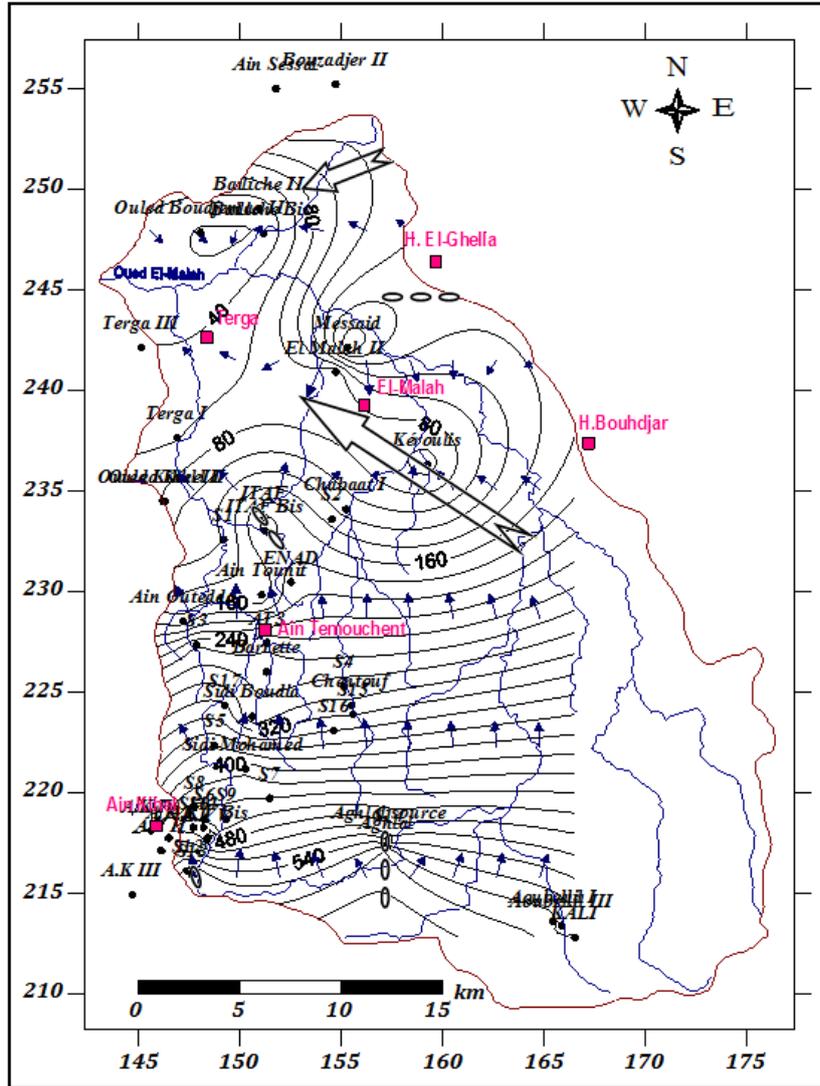
D'autre part, la perméabilité des terrains est souvent faible, les débits des exutoires sont peu importants (en général inférieurs à quelques litres par seconde) sauf dans le cas d'une disposition favorable (structurale) comme celui d'Ain El Had au Nord- Est d'Aoubellil qui présente un débit élevé: environ 35 L/s (H.P.O Oran, 2005).

III.2. Piézométrie

Selon la carte piézométrique (fig.I.13) établie sur les calcaires et grès de l'Oligo-Miocène, nous pouvons constater que:

- Au Nord- Est, les lignes de courant divergent, une partie s'échappe vers le Nord-Ouest et l'autre partie vers le Sud par contre à l'extrême Sud, elles divergent pour contribuer au drainage vers le Nord-Ouest.
- Les lignes de courant paraissent provenir de deux directions, les unes se dirigent du Sud au Nord et les autres du Nord- Est vers le Nord-Ouest en convergeant pour donner un axe de drainage qui se poursuit jusqu'à l'exutoire du bassin.
- Les courbes isopièzes sont un peu espacées au Nord, ce qui met en évidence un faible gradient hydraulique donc un faible débit tandis qu'elles se resserrent dans le sens de l'écoulement de la nappe pour donner un fort gradient hydraulique, ce qui traduit un débit plus important. Ainsi, l'accroissement du gradient correspond à une zone bien alimentée.
- Les dépressions apparaissent généralement en courbes elliptiques, ces anomalies peuvent être due à des pertes profondes, à des diminutions locales de la perméabilité (lentille imperméable, à des dépressions du substratum imperméable et plus fréquemment à l'action d'un pompage important (cône de dépression).

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



LA LÉGENDE

- 100 : Courbe isopièze \Rightarrow : Axe de drainage \rightarrow : ligne de courant
○○○ : Ligne de partage des eaux ● : Point d'eau
~ Cours d'eau.

Figure I.13: Carte piézométrique du bassin versant d'Oued El Malah (Campagne A.N.R.H., 2005).

CHAPITRE II :

Etude climatique

CHAPITRE II : ETUDE CLIMATIQUE

I. Introduction :

Le climat est l'ensemble des phénomènes (vents, précipitations, température, évaporation...) qui varient d'un lieu à un autre. L'étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques recueillies auprès de l'Institut de Technologie Moyen Agricole Spécialisé (I.T.M.A, Aïn Temouchent) qui dispose d'une station installée à une altitude de 330m, aux coordonnées géographiques indiquées dans le tableau II.1

Tableau II.1: Présentation de la station d'Aïn Temouchent (I.T.M.A).

Latitude	Longitude	Altitude (m)
35°17' N	01°07' W	330

II.1. Étude des Précipitations

II.1.1. Etude de la variabilité interannuelle des précipitations (fig. II.1)

Tableau II.2 : Valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).

Année	Précipitations (mm)	Année	Précipitations (mm)	Année	Précipitations (mm)
1979/1980	677,4	1992/1993	337,6	2005/2006	371,8
1980/1981	602,5	1993/1994	458	2006/2007	239,8
1981/1982	593,6	1994/1995	412,6	2007/2008	355,2
1982/1983	466,9	1995/1996	602,8	2008/2009	610,5
1983/1984	510,8	1996/1997	336	2009/2010	435,7
1984/1985	502,3	1997/1998	422,4	2010/2011	327,2
1985/1986	555,5	1998/1999	297,2	2011/2012	389,7
1986/1987	618,3	1999/2000	228,4	2012/2013	500,5
1987/1988	514	2000/2001	353	2013/2014	361
1988/1989	612,5	2001/2002	322,5	Moyenne annuelle = 449,2 mm	
1989/1990	401	2002/2003	414,2		
1990/1991	714	2003/2004	414,4		
1991/1992	468,5	2004/2005	295,8		

On consigne d'après la figure II.1 une prépondérance d'un front déficitaire durant la période comprise entre 1996 et 2008 où plusieurs valeurs annuelles se trouvent en dessous de la moyenne annuelle qui est de 449,2 mm, par contre la décennie: 1979-1992 apparait comme excédentaire, où l'on enregistre un maximum durant l'année 1990-1991 de 714 mm.

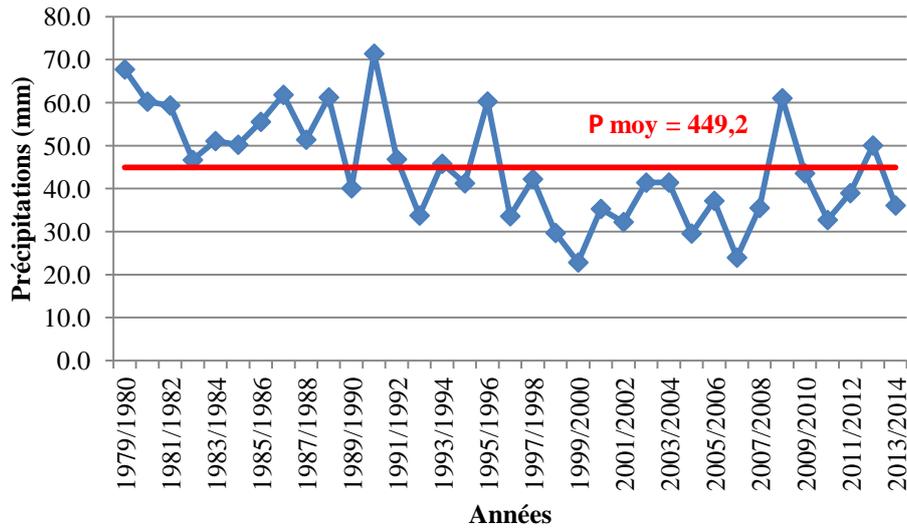


Figure II.1: Variation des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Temouchent (1979/1980 – 2013/2014).

II.1.2. Répartition des précipitations moyennes mensuelles

Tableau II.3: Valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Ain Temouchent (1979/1980-2013/2014).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Pmoy
Précipitations (mm)	25,3	40,7	60,4	52,4	48,3	54	53,9	41,4	40,5	16	5,5	10,8	449,2

D'après l'histogramme qui représente l'évolution mensuelle des précipitations durant la période: 1979/1980 – 2013/2014, on observe deux périodes distinctes au niveau d'Oued El Malah:

- Une période Sèche: qui correspond à la saison d'Été (Juin, Juillet, Août), marquée par une diminution importante des précipitations.
- Une période Humide: correspond aux autres mois de l'année, où il y'a une alternance de mois humides avec certains mois peu secs (fig. II.2),
- donc nous pouvons conclure que la pluviométrie est irrégulière dans le bassin étudié.

D'autre part, les mois les plus pluvieux sont Novembre (60,4 mm) et Février (54 mm), par contre le mois de Juillet est le plus sec avec une hauteur de 5,5 mm.

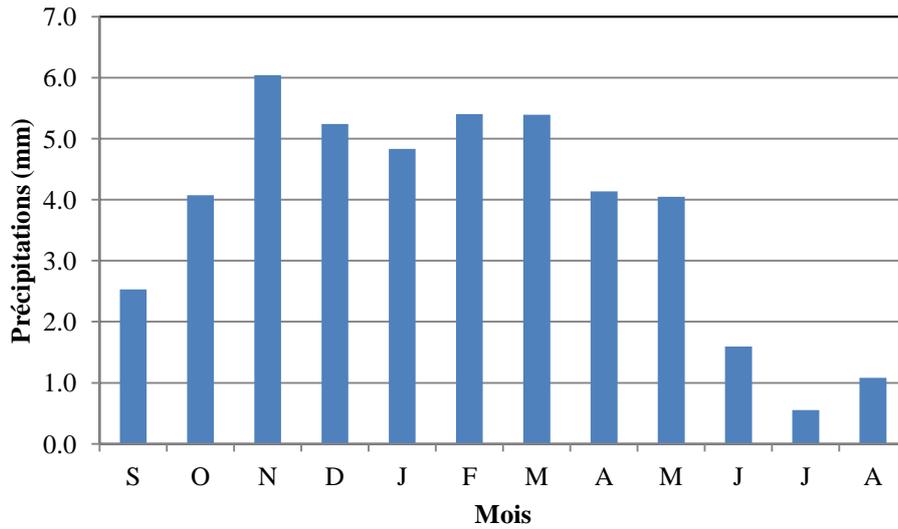


Figure II.2: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980 – 2013/2014).

II.1.3. Répartition des précipitations saisonnières

Tableau II.4: Valeurs des précipitations saisonnières à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
Précipitations (mm)	126,4	154,8	135,7	32,3

La figure II.3, indique que la saison la plus humide est l'Hiver par contre la plus sèche est notamment celle de l'Été.

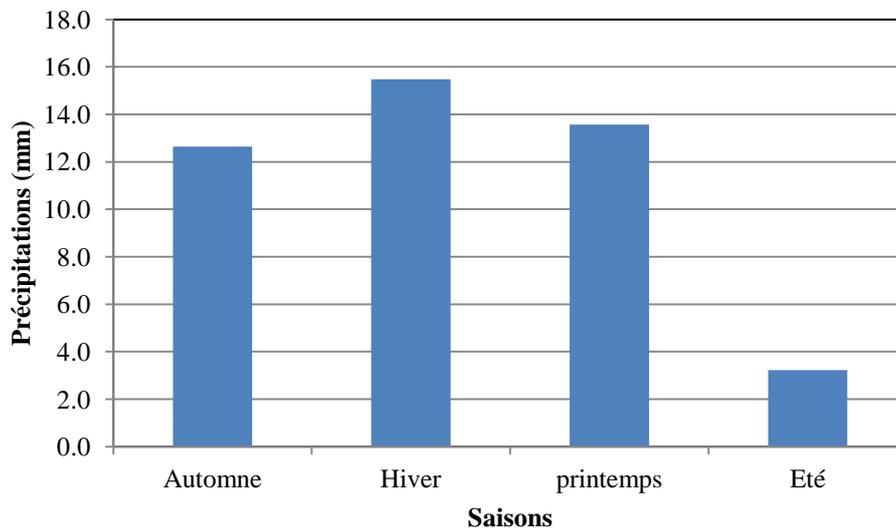


Figure II.3 : Histogramme des précipitations saisonnières à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).

II.2. Étude des températures

II.2.1. Variation interannuelle de la température

Tableau II.5 : Variation interannuelle de la température (1979/1980-2013/2014).

Années	Températures (°C)	Années	Températures (°C)	Années	Températures (°C)
1979/1980	17,22	1992/1993	17,36	2005/2006	18,16
1980/1981	17,2	1993/1994	17,89	2006/2007	18,13
1981/1982	18,46	1994/1995	17,95	2007/2008	18,21
1982/1983	17,18	1995/1996	18,02	2008/2009	17,89
1983/1984	17,87	1996/1997	17,82	2009/2010	18,96
1984/1985	17,68	1997/1998	18,74	2010/2011	18,57
1985/1986	17,99	1998/1999	17,88	2011/2012	18,22
1986/1987	17,95	1999/2000	18,11	2012/2013	18,13
1987/1988	18,46	2000/2001	18,45	2013/2014	18,53
1988/1989	18,37	2001/2002	18,09	Température moyenne = 18,04 °C	
1989/1990	18,83	2002/2003	18,48		
1990/1991	17,59	2003/2004	18,11		
1991/1992	17,2	2004/2005	17,92		

Le tableau II.5 et la figure II.4, montrent que la température maximale durant cette période d'étude a été observée en 2009/2010 avec une valeur de 18,96°C, par contre la plus faible est de 17.20°C enregistrée en 1980/1981 et 1991/1992. La moyenne de la série est de 18,04°C.

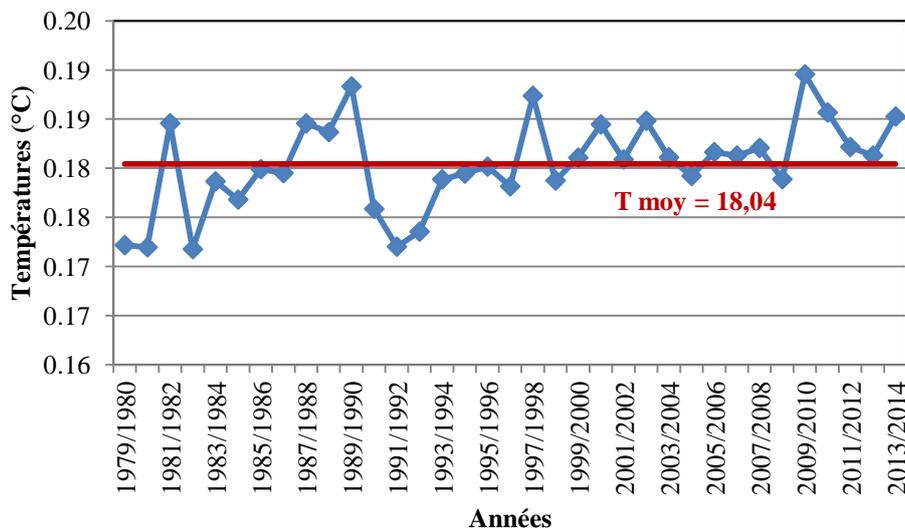


Figure II.4: Variation interannuelle des températures à la station d'Ain Temouchent (1979/1980-2013/2014).

II.2.2. Variation mensuelle de la température

Tableau II.6: Variation des températures moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C)	23,5	19,81	15,33	12,45	11,28	11,83	13,51	15,2	18,29	22,49	25,96	26,84

La représentation graphique de la variation des températures moyennes mensuelles (fig. II.5), montre que le mois de Janvier est le plus froid (11,28°C) alors que Août est le mois le plus chaud (26.84°C).

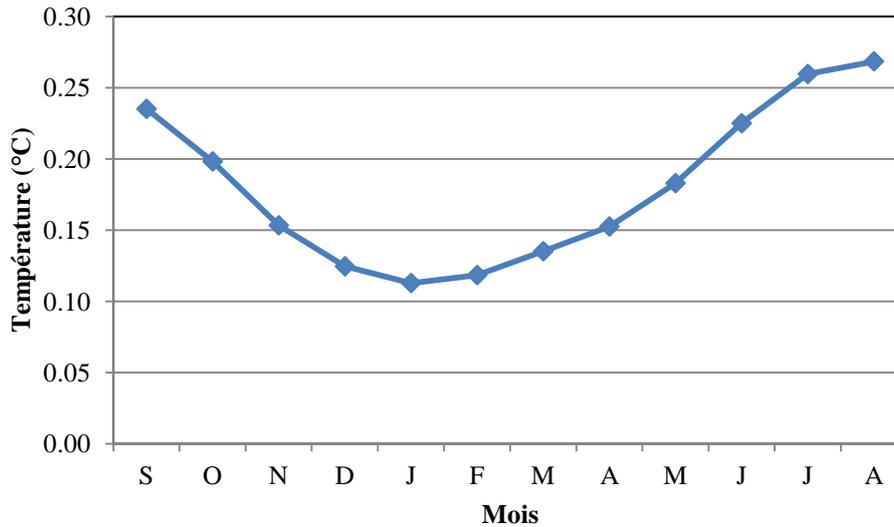


Figure II.5: Variation mensuelle des températures à la station d’Ain Temouchent

III. Synthèse climatique

L’étude du climat nous permet de déterminer les périodes sèches et humides, et en se basant sur des indices, elle permet de déterminer le type du climat de la région à partir des précipitations et des températures.

Tableau II.7 : Valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles (1979/1980-2013/2014).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	25,3	40,7	60,4	52,4	48,3	54	53,9	41,4	40,5	16	5,5	10,8
T (°C)	23,5	19,81	15,33	12,45	11,28	11,83	13,51	15,24	18,29	22,49	25,96	26,84

III.1. Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen

Les diagrammes pluviothermique de Bagnouls et Gaussen sont établis selon la relation $P = 2T$, les précipitations sont reportées à l’échelle double des températures. Cette relation permet d’établir le diagramme pluvio-thermique sur la période (1979/1980 – 2013/2014)

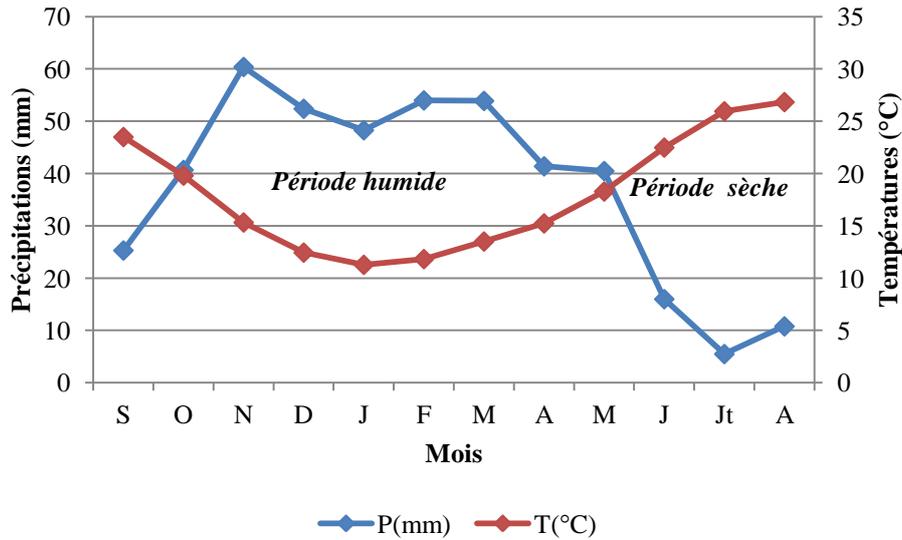


Figure II.6: Diagramme pluvio-thermique de la station de Aïn Temouchent (1979/1980 – 2013/2014).

La courbe des températures passe au dessus de celle des précipitations pour une période sèche s'étendant de la mi-mai jusqu'à la mi-octobre, alors que pour une période humide, la courbe des précipitations passe au dessus de la courbe des températures. et ça concerne le reste des mois.

III.2. Calcul des indices climatiques

A. Indice d'aridité de De. Martonne

De. Martonne a établi un indice d'aridité annuel et un autre mensuel indiquant le type de mois, pour:

- 20 < I < 30 → Climat tempéré,
- 10 < I < 20 → Climat semi aride,
- 7,5 < I < 10 → Climat steppique,
- 5 < I < 7,5 → Climat désertique,
- I < 5 → Climat hyper aride.

A.1. Indice d'aridité annuel (I)

$$I = P / (T + 10)$$

Où:

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau II.8: Indice d'aridité de De. Martonne (1979/1980-2013/2014).

P (mm)	T (°C)	I
449,2	18,04	16,02

CHAPITRE II : ETUDE CLIMATIQUE

L'indice de De. Martonne estimé à 16,02, montre l'appartenance de la station de notre zone d'étude au régime semi aride, comme le confirme l'abaque de la figure II.7.

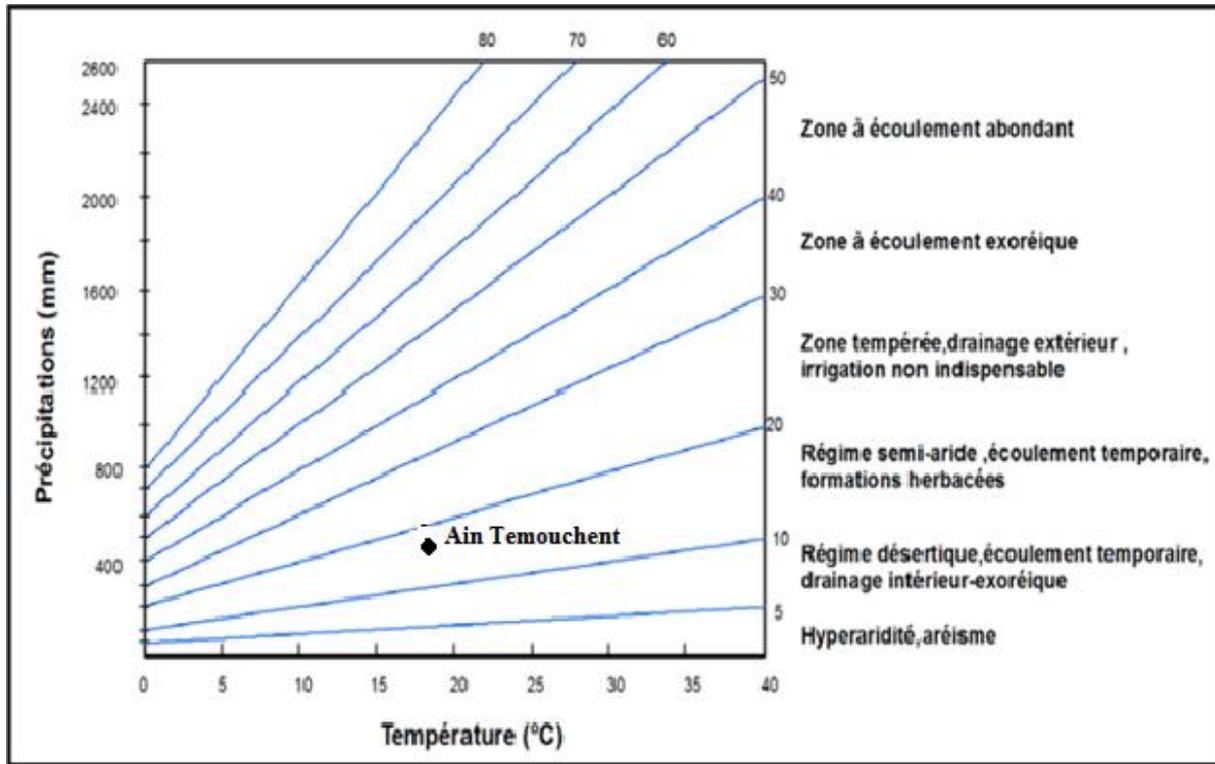


Figure II.7: Abaque de l'indice d'aridité de De. Martonne, à la station d'Aïn Temouchent (1979/1980-2013/2014).

A.2. Indice d'aridité mensuel (i): donné par la relation:

$$i = 12p / (t + 10)$$

Où p et t représentent respectivement les précipitations et la température moyennes du mois considéré.

$20 < I < 30$ → Climat tempéré.

$10 < I < 20$ → Climat semi aride.

$7,5 < I < 10$ → Climat steppique.

$5 < I < 7,5$ → Climat désertique.

$I < 5$ → Climat hyper aride.

Tableau II.9: Indices d'aridité mensuels de De. Martonne.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
p (mm)	25,3	40,7	60,4	52,4	48,3	54	53,9	41,4	40,5	16	5,5	10,8
t (°C)	23,5	19,81	15,33	12,45	11,28	11,83	13,51	15,24	18,29	22,49	25,96	26,84
i	9,06	16,38	28,61	28,01	27,24	29,68	27,51	19,68	17,18	5,91	1,84	3,52
Type de Climat	S	SA	T	T	T	T	T	SA	SA	D	HA	HA

D: désertique, SA : semi aride, T : tempéré, S : steppique, HA : hyper aride.

B. Indice de Moral

L'application de cet indice permet selon Moral de fixer la limite de la zone aride pour un coefficient égal à l'unité:

$$I_M = P / (T^2 - 10T + 200)$$

Où:

P: Précipitations moyennes annuelles (mm).

T: Température moyenne annuelle (°C).

Tableau II.10: Indice annuel de Moral.

P (mm)	T (°C)	IM
449,2	18,04	1,30

Si, $I_M < 1 \Rightarrow$ climat sec, et si $I_M > 1 \Rightarrow$ climat humide, dans ce cas $I_M = 1,30 > 1$, donc le climat dans la région d'Ain Temouchent est humide.

IV. conclusion

D'après l'étude climatique la région d'Ain Temouchent est caractérisée par un climat méditerranéen humide avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La température moyenne annuelle est d'environ 18,04 °C. Le mois le plus chaud est Août avec une température moyenne de 26,84 °C.

Le régime général des pluies est celui des zones semi-arides d'après l'indice de De.Martonne. Il est caractérisé par des précipitations d'hiver avec un maximum enregistré en mois de Novembre de 60,4 mm, et une période sèche, pratiquement sans pluie s'étendant de la mi-mai jusqu'à la mi-octobre.

CHAPITRE III :

Hydrochimie

I. Introduction

L'étude hydrochimique nous permet de connaître la qualité physico-chimique des eaux, et de confirmer les résultats de la prospection hydrogéologique.

La composition chimique des eaux change dépendamment du temps de séjour. L'analyse des eaux a porté sur les échantillons prélevés au niveau des différents points d'eau (puits, forages, sources) appartenant à la nappe des calcaires et grès d'Oligo-Miocène ainsi qu'au niveau des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah dont la plus grande partie a été réalisée par le laboratoire de chimie de l'A.N.R.H d'Oran (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) et l'autre par le laboratoire d'A.D.E d'Ain Temouchent (fig.III.1).

L'annexe IV donne les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur différents points d'eau du bassin versant d'Oued El Malah, les concentrations sont exprimées en milligramme par litre (mg/L) et en milliéquivalent par litre (még/L). Ces concentrations nous aide à déterminer la qualité des eaux ainsi que leur potabilité.

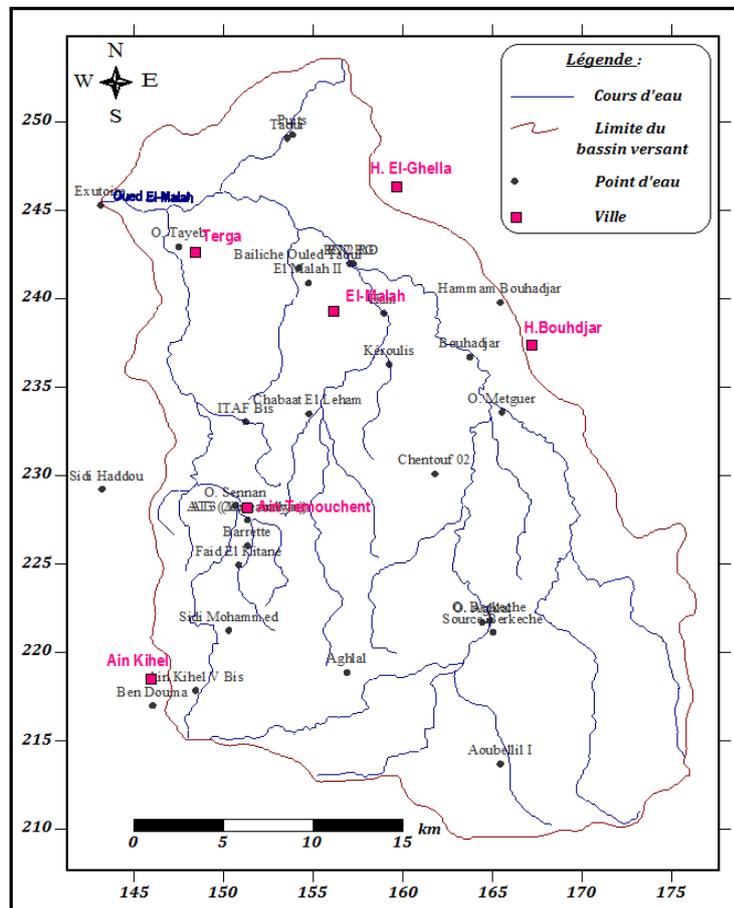


Figure III.1: Localisation des points d'eau étudiés au niveau du Bassin versant d'Oued El Malah.

Caractéristiques organoleptiques

- **L'odeur**

L'eau étudiée ne présente aucune odeur particulière, ceci indique l'absence des produits chimiques, de matières organiques en décomposition, de protozoaires et d'organismes aquatiques.(Benhedda N., 2014)

- **La saveur**

La plupart des points d'eau étudiés ne présentent aucun goût, par contre quelques uns comme le point «El Malah II» révèle une saveur saumâtre dû à la forte quantité de chlorures (7132mg/L) ainsi que les points situés à l'exutoire (3344mg/L), et oued Metguer (2722mg/L) qui présentent une saveur plus ou moins saumâtre.(Benhedda N., 2014)

- **La couleur**

L'eau étudiée est incolore et limpide, à l'exception du point d'eau «Bailiche Ouled Taoui» qui possède une couleur plus ou moins marron.(Benhedda N., 2014), ceci indique la présence d'ions métalliques qui changent la couleur de l'eau.

III. Interprétation des résultats d'analyses

III.1. Paramètres physiques

III.1.1. Eaux souterraines

a)- Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Le pH est relié à l'activité en protons: activité en ions H^+ à l'équilibre (J.Rodier, 2009).

Tableau III.1: Classification des eaux selon le pH (J.Rodier, 2009).

pH	Possibilités d'utilisation
pH < 5	acidité forte
pH = 7	neutralité (eau pure)
7 à 8	neutralité rapprochée (eau de surface)
5.5 à 8	majorité des eaux souterraines
pH > 8	alcalinité, évaporation intense

La plage des valeurs de pH est comprise entre 6,99 et 8,2. Les variations de pH sont assez homogènes (fig. III.2), donc les eaux sont rangées dans la gamme correspondant à la majorité des eaux souterraines.

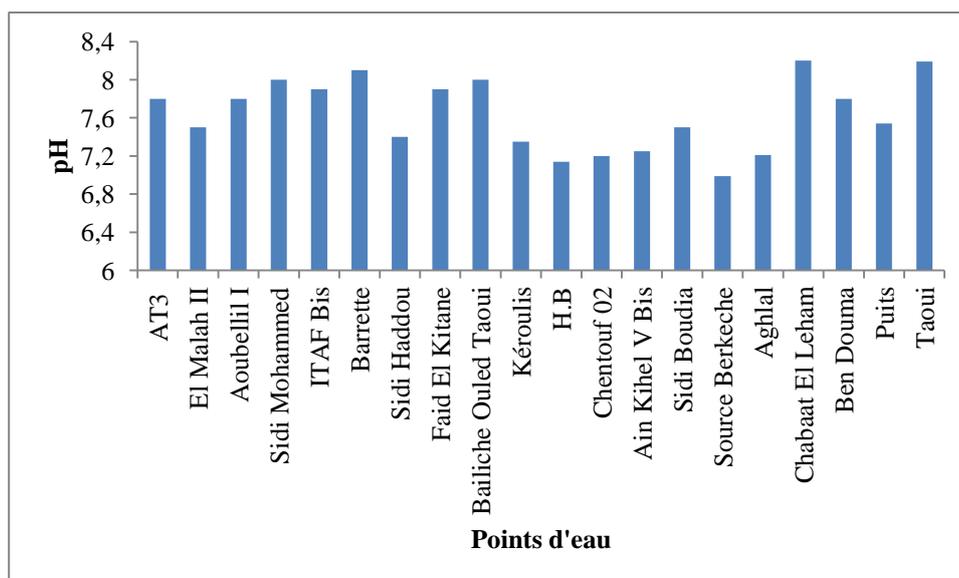


Figure III.2 : Variation du pH des points d'eau souterraines.

b)- Conductivité et minéralisation

La conductivité mesure l'aptitude de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

La minéralisation est estimée à partir de la conductivité suivant le tableau ci-dessous.

Tableau III.2: Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité (J.Rodier , 2009).

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$).	Minéralisation (mg/L).
Conductivité < 50	$1,365079 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
50 < conductivité < 166	$0,947658 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
166 < conductivité < 333	$0,769574 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
333 < conductivité < 833	$0,715920 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
833 < conductivité < 10 000	$0,758544 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
Conductivité > 10 000	$0,850432 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$

Tableau III.3 : Valeurs de la conductivité et de la minéralisation

Point d'eau	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation (mg/L)
AT3	1100	834,40
El Malah II	18700	15903,08
Aoubellil I	1400	1061,96
Sidi Mohammed	1000	758,54
ITAF Bis	4960	3762,38
Barrette	1210	917,84
Sidi Haddou	2320	1759,82
Faid El Kitane	5770	4376,80

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

<i>Bailiche Ouled Taoui</i>	2400	1820,51
<i>Kéroulis</i>	3630	2753,51
<i>H.B</i>	4360	3307,25
<i>Chentouf 02</i>	4800	3641,01
<i>Ain Kihel V Bis</i>	1924	1459,44
<i>Sidi Boudia</i>	700	530,98
<i>Source Berkeche</i>	1770	1342,62
<i>Aghlal</i>	2000	1517,09
<i>Chabaat El Leham</i>	3460	2624,56
<i>Ben Douma</i>	1960	1486,75
<i>Puits</i>	1920	1456,40
<i>Taoui</i>	1780	1350,21

La figure III.3 montre que les valeurs de conductivité électrique varient globalement entre 700 et 18700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ce qui caractérise les eaux par une minéralisation élevée (Fig.III.4) c'est évident dans le point d'eau El Malah II qui se caractérise par une valeur élevée 18700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et ceci est du probablement aux fortes concentrations en ions chlorures. La minéralisation étant calculée à partir de la conductivité électrique présente la même allure.

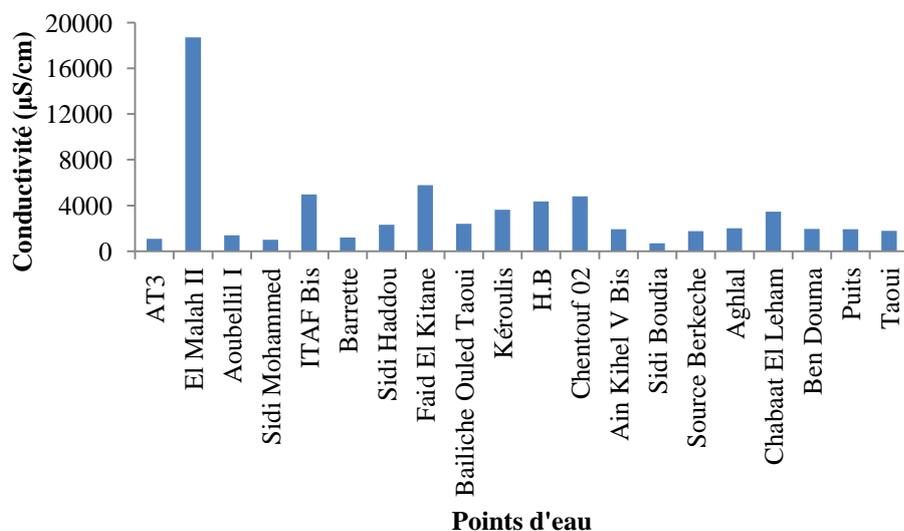


Figure III.3: Variation de la conductivité électrique des différents points d'eau souterraines.

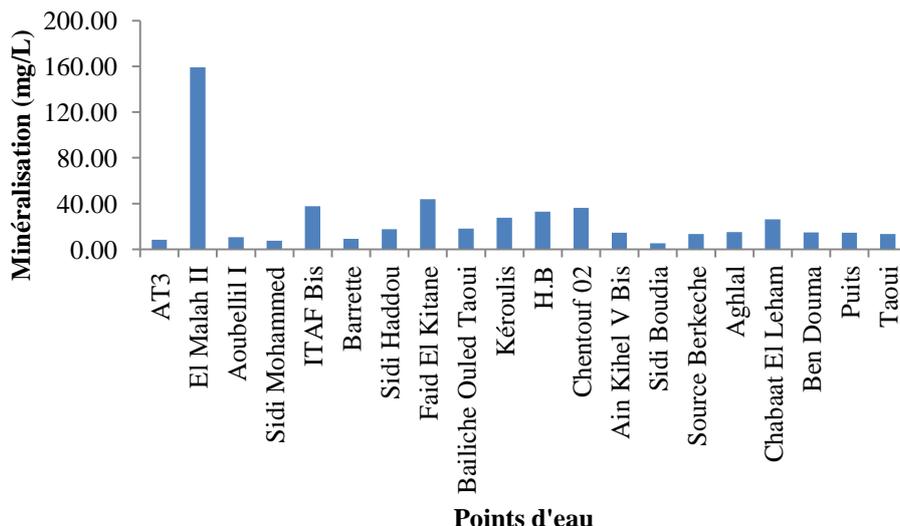


Figure III.4 : Variation de la minéralisation des points d'eau souterraines.

c)- Résidu sec

Le résidu desséché après évaporation de la quantité d'eau est considéré comme résidu sec. La plage des valeurs du résidu sec est comprise entre 720 et 14040 mg/L, avec une moyenne de 2510,81 mg/L, la majorité des valeurs du résidu sec est située au dessous de la moyenne, ce qui implique une potabilité passable (fig. III. 5), mais certaines valeurs du résidu sec sont très élevées comme El Malah II avec 14040 mg/L ce qui exprime une potabilité mauvaise du à une différence dans le faciès lithologique qui influence le faciès chimique des eaux.

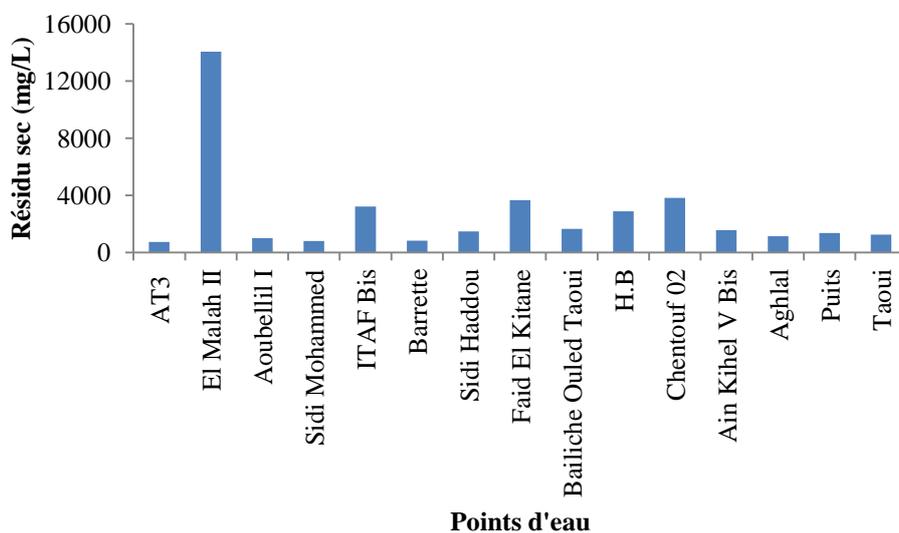


Figure III.5 : Variation du résidu sec des différents points d'eau souterraines.

La potabilité a été déterminée à partir du tableau ci-dessous.

Tableau.III.4: Potabilité en fonction du résidu sec (Rodier, 2009).

Résidu sec (mg/L).	Potabilité.
RS < 500	Bonne
500 < RS < 1000	Passable
1000 < RS < 2000	Médiocre
2000 < RS < 4000	Mauvaise
4000 < RS < 8000	Momentanée

III.1.2. Eaux superficielles

a)- Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs du pH sont comprises entre 6,95 pour Oued Sennan et 8,37 au point RN rive gauche.

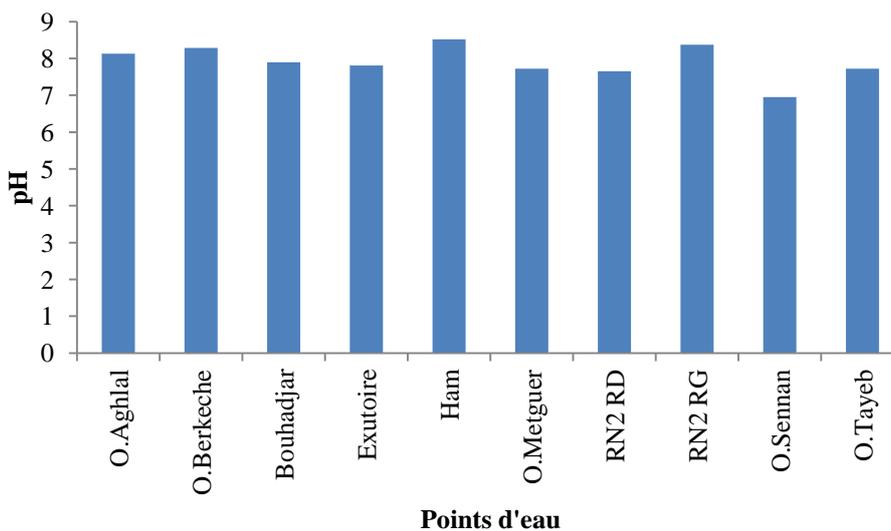


Figure III.6: Variation du pH des différents points d'eau superficielles.

b)- Conductivité et minéralisation

Les valeurs de la conductivité oscillent entre 1980 à 7640 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fig III.7) où la plus faible apparaît à l'Oued Sennan, ces valeurs sont supérieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indiquant une minéralisation élevée (fig III.8).

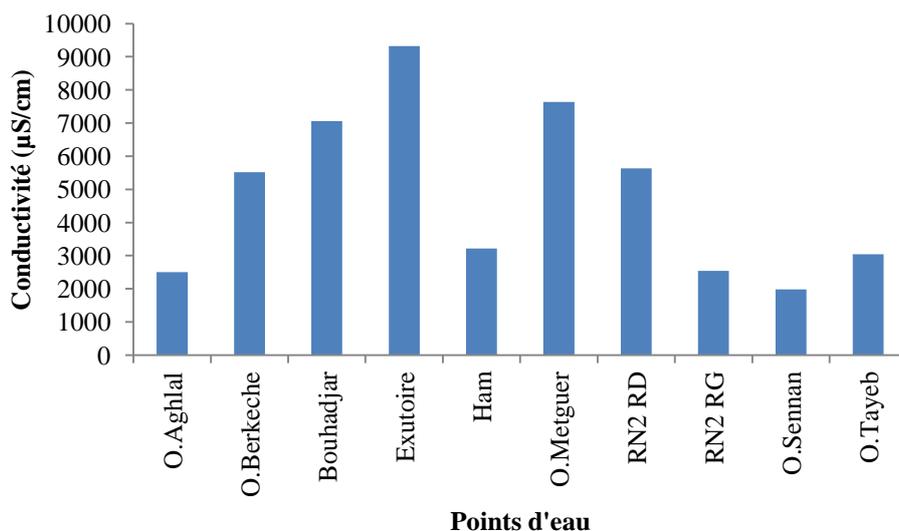


Figure III.7: Variation de la conductivité électrique des différents points d'eau superficielles.

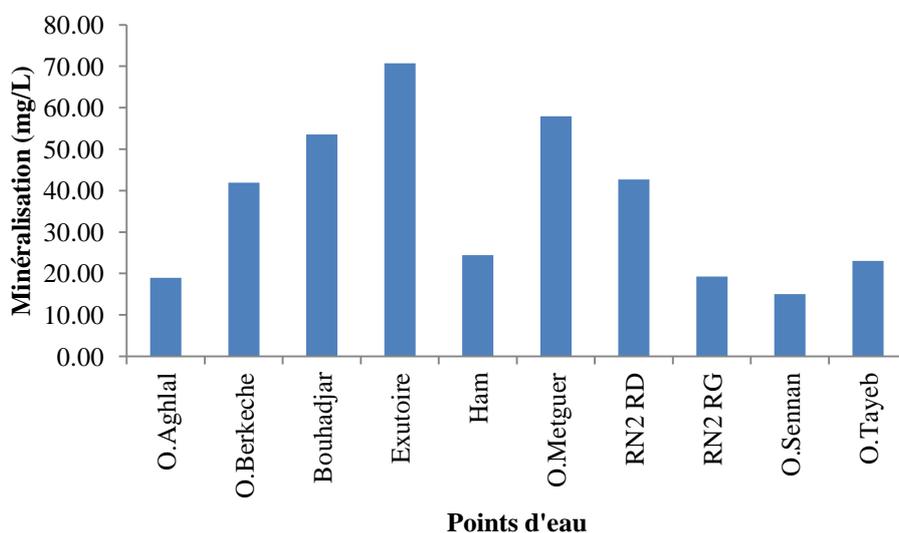


Figure III.8: Variation de la minéralisation des différents points d'eau superficielles.

c)- Résidu sec

D'après (Fig III.9) nous constatons que certaines valeurs du résidu sec sont comprises entre 1480 et 1860 mg/L dans les points «RN2 RG, O. Sennan, O. Aghlal» exprimant une potabilité médiocre, d'autres valeurs sont comprises entre 4060 et 5460 mg/L désignant une potabilité momentanée et celle d'O. Tayeb représente une potabilité mauvaise.

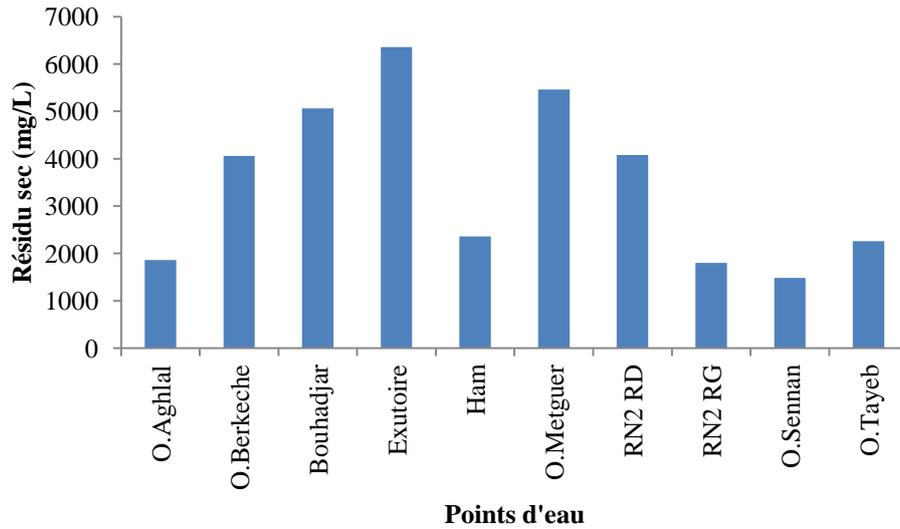


Fig.III.9: Variation du résidu sec des points d'eau superficielles.

III.2. Paramètres chimiques

- **Contrôle des analyses chimiques par la balance ionique**

Les analyses peuvent être contrôlées par la formule suivante:

$$BI = \frac{|\sum r^+ + \sum r^-|}{\sum r^+ + \sum r^-} \times 100$$

Avec:

$\sum r^+$: Somme des quantités en réactions des cations.

$\sum r^-$: Somme des quantités en réactions des anions.

BI: Balance ionique en %.

Si :

- $BI \leq 2\%$ \Rightarrow Très bonne analyse
- $2\% > BI > 5\%$ \Rightarrow Analyse acceptable
- $BI > 5\%$ \Rightarrow Mauvaise analyse

Tableau III.5 : Résultats des analyses chimiques.

Point d'eau	Σ Cations (méq/l)	Σ Anions (méq/l)	BI	Remarque
AT3	13,31	12,35	3,74	Analyse acceptable
El Malah II	217,64	227,98	2,32	Analyse Acceptable
Aoubellil I	15,29	14,66	2,1	Analyse acceptable
Sidi Mohammed	13,35	12,42	3,61	Analyse acceptable
ITAF Bis	52,59	51,32	1,22	Bonne Analyse
Barrette	12,01	11,61	1,69	Bonne Analyse
Sidi Haddou	25,31	24,76	1,1	Bonne Analyse
Faid El Kitane	63,32	60,12	2,59	Analyse acceptable
Baïliche Ouled Taoui	23,22	25,02	3,73	Analyse acceptable

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

<i>Kéroulis</i>	37,37	37,82	0,6	Bonne Analyse
<i>H.B</i>	47,11	43,81	3,63	Analyse acceptable
<i>Chentouf 02</i>	59,05	59,2	0,13	Bonne Analyse
<i>Ain Kihel V Bis</i>	24,47	24,55	0,16	Bonne Analyse
<i>Sidi Boudia</i>	13,84	10,17	15,29	mauvaise analyse
<i>Source Berkeche</i>	23,74	20,49	7,35	mauvaise analyse
<i>Aghlal</i>	25,36	24,46	1,81	Bonne Analyse
<i>O. Aghlal</i>	30,18	31,29	1,81	Bonne Analyse
<i>O. Berkeche</i>	69,38	70,44	0,76	Bonne Analyse
<i>Bouhadjar</i>	77,65	81,61	2,49	Analyse acceptable
<i>Exutoire</i>	104,5	110,3	2,7	Analyse acceptable
<i>Ham</i>	39,16	35,84	4,43	Analyse acceptable
<i>O. Metguer</i>	85,26	91,84	3,72	Analyse acceptable
<i>Puits</i>	20,23	21,45	2,93	Analyse acceptable
<i>RN2 RD</i>	65,81	61,99	2,99	Analyse acceptable
<i>RN2 RG</i>	30,54	27,09	5,99	Mauvaise analyse
<i>O. Sennan</i>	24,9	23,58	2,72	Analyse acceptable
<i>Taoui</i>	19,84	19,96	0,3	Bonne Analyse
<i>O. Tayeb</i>	35,44	36,56	1,56	Bonne Analyse

Nous pouvons voir que dans l'ensemble les analyses sont bonnes et peuvent être utilisées pour la suite du travail.

IV Détermination des faciès chimiques

Les faciès hydrochimiques sont souvent utilisés en hydrogéologie afin d'avoir une idée sur la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction, qui sont exprimées par la formule caractéristique ou la formule ionique obtenue de la manière suivante:

On classe de gauche à droite par ordre croissant les quantités en réaction des anions ensuite des cations en se basant sur la prédominance de tel ou tel ion.

Les principaux faciès hydrochimiques rencontrés dans les eaux du bassin versant d'Oued El Malah sont illustrés sur le tableau.III.6 pour les eaux superficielles et sur le tableau.III.7 pour les eaux souterraines.

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

Tableau.III.6: Classification des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah selon leurs faciès.

Faciès chimique	Formule caractéristique	Points d'eau
Chloruré Sodique et Potassique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	O. Aghlal - Exutoire - O. Metguer - RN2 RD - O. Tayeb
	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Bouhadjar - O. Sennan
	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	O. Berkeche
	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Ham
	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	RN2 RG
	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	

Tableau.III.7: Classification des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah selon leurs faciès.

Aquifère	Faciès chimique	Formule caractéristique	Points d'eau
Alluvions quaternaires	Chloruré Sodique et potassique	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	El Malah II
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Bailiche Ouled Taoui
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Hammam Bouhadjar
Plio-Quaternaire	Bicarbonaté Sodique et potassique	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	AT ₃
		$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Sidi Mohammed
		$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Sidi Boudia
	Chloruré Sodique et potassique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	ITAF Bis - Barrette
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Sidi Haddou
		$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Faid El Kitane
		$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Ain Kihel V Bis

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

Pliocène	Chloruré Sodique et potassique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	Kéroulis
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Chentouf 02
Miocène	Chloruré Calcique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + r \text{K}^+$	Source Berkeche
		$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+}$	Puits
	Chloruré sodique et potassique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Aghlal
	Chloruré Magnésien	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Ca}^{2+}$	Taoui
Oligo-Miocène	Chloruré Calcique	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + r \text{K}^+ > r \text{Mg}^{2+}$	Aoubellil I

r : Quantité en réaction (meq/L)

V. Représentation graphique des faciès hydrochimiques

Afin de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines ainsi que superficielles, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Schöeller-Berkaloff et à celui de Piper. La réalisation de ces diagrammes a été faite à l'aide du logiciel "**Diagrammes**".

V.1. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique des échantillons d'eau.

Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée, la concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique, la ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

V.1.1. Eaux superficielles

Les eaux superficielles sont caractérisées par un faciès chloruré sodique (fig.III.10.a et b), permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux cations "Sodium+Potassium" et aux anions "chlorures".

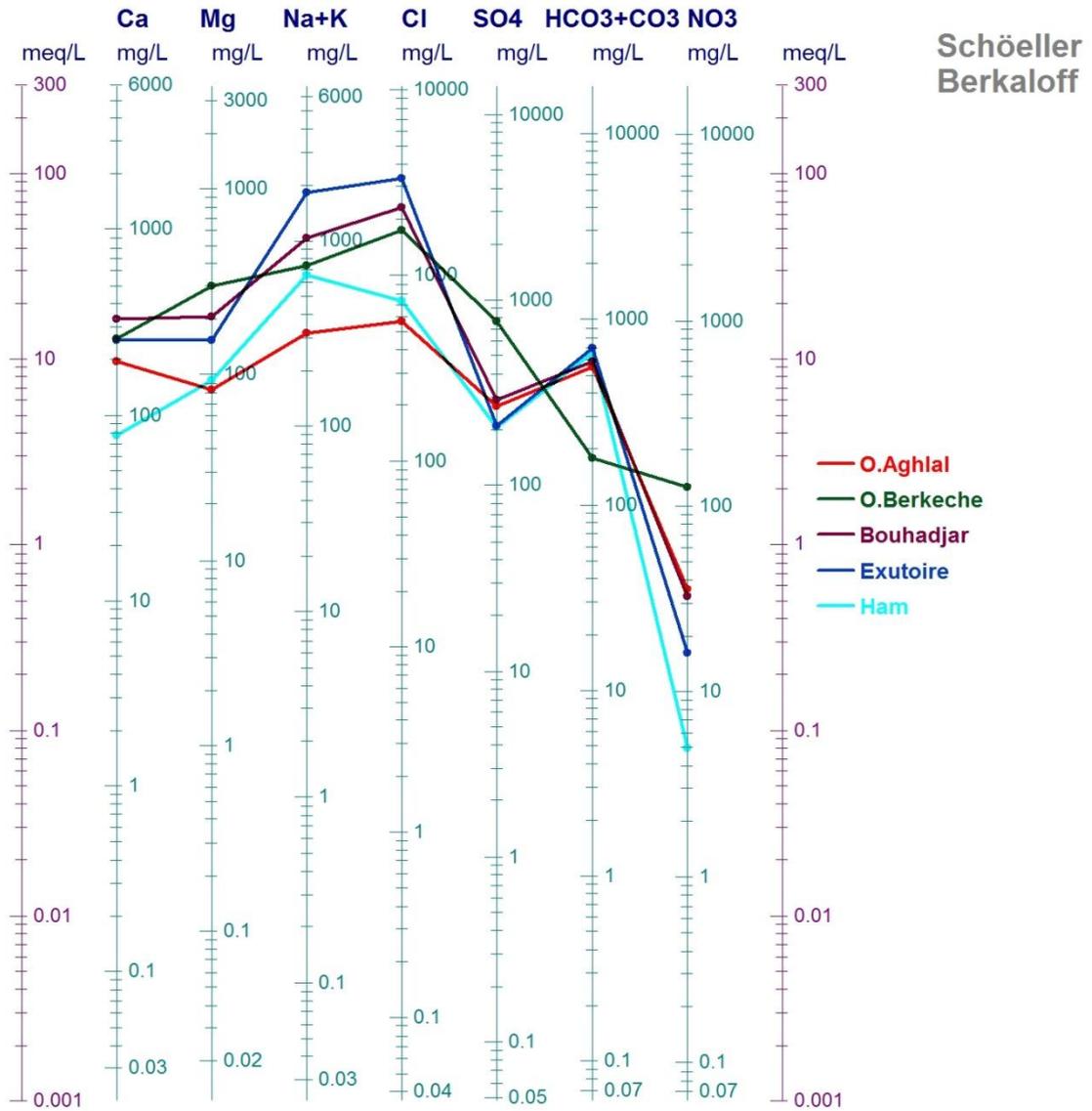


Figure III.10.a : Représentation des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

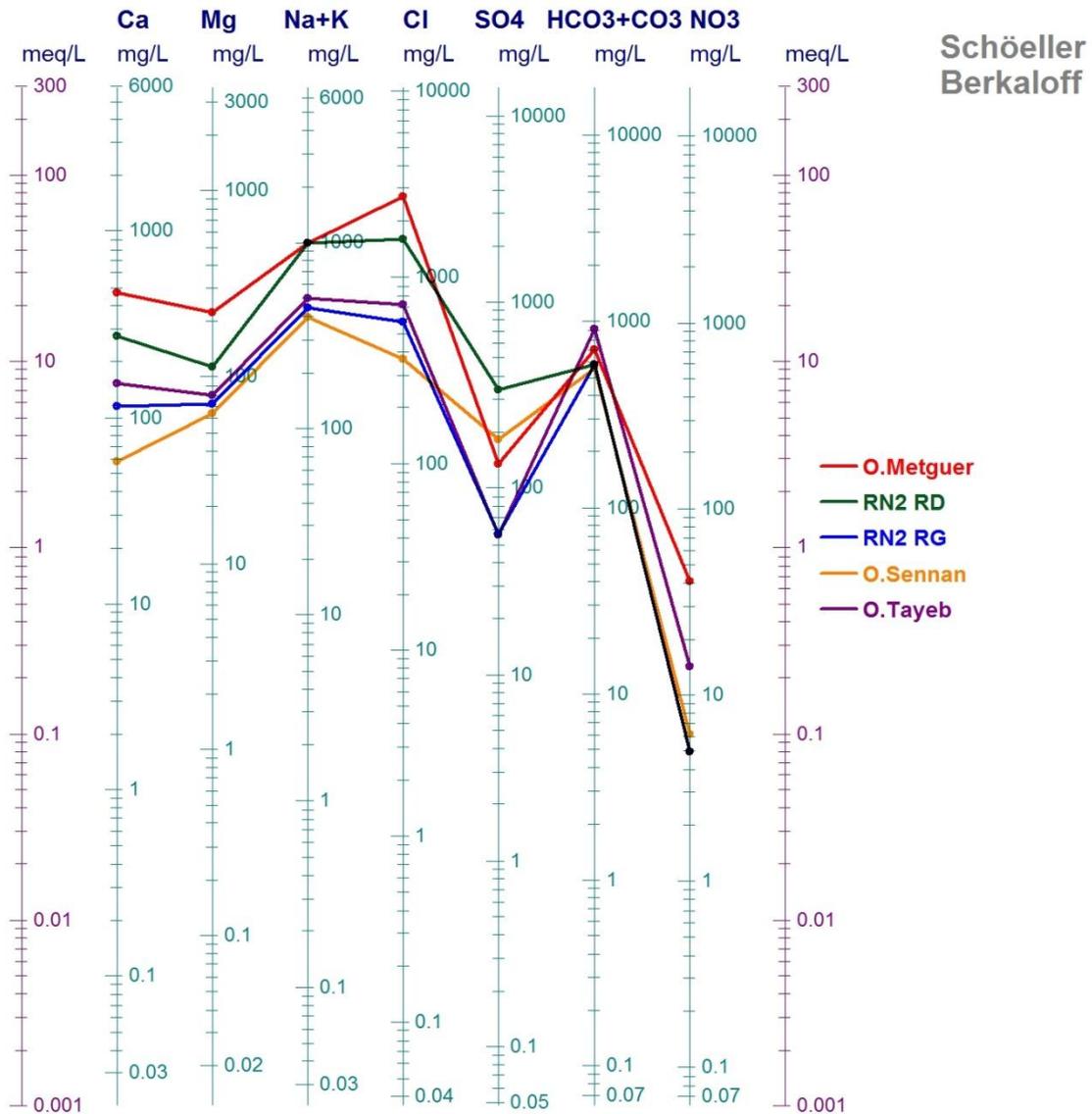


Figure 31.b : Représentation des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

V.1.2. Eaux souterraines

A. Eaux des alluvions quaternaires

Les eaux de l'aquifère des alluvions quaternaires renferment un faciès chloruré sodique (fig.III.11) dans les points «El Malah II, Bailiche Ouled Taoui, Hammam Bouhadjar».

B. Eaux du Plio-Quaternaire: On distingue trois faciès (fig.III.12)

Un faciès chloruré sodique dans les points d'eau «ITAF Bis, Barrette, Sidi Haddou, Faïd El Kitane», un faciès bicarbonaté sodique dans les points «AT₃, Sidi Mohammed, Sidi Boudia» et un faciès sulfaté sodique dans le point d'eau «Ain Kihel V Bis».

C. Eaux du Pliocène : (fig.III.13)

Les eaux de l'aquifère pliocène sont chlorurées sodiques au niveau des points d'eau «Kéroulis, Chentouf 02».

D. Eaux du Miocène : (fig.III.14)

Les eaux de l'aquifère miocène sont chlorurés calciques au niveau de la source Berkeche et le point d'eau «Puits», chloruré sodique dans le point Aghlal et chloruré magnésien dans le point d'eau Taoui.

E. Eaux d'Oligo-Miocène : (fig.III.15)

Les eaux de l'aquifère d'Oligo-Miocène comporte un facies chloruré calcique dans le point Aoubellil I.

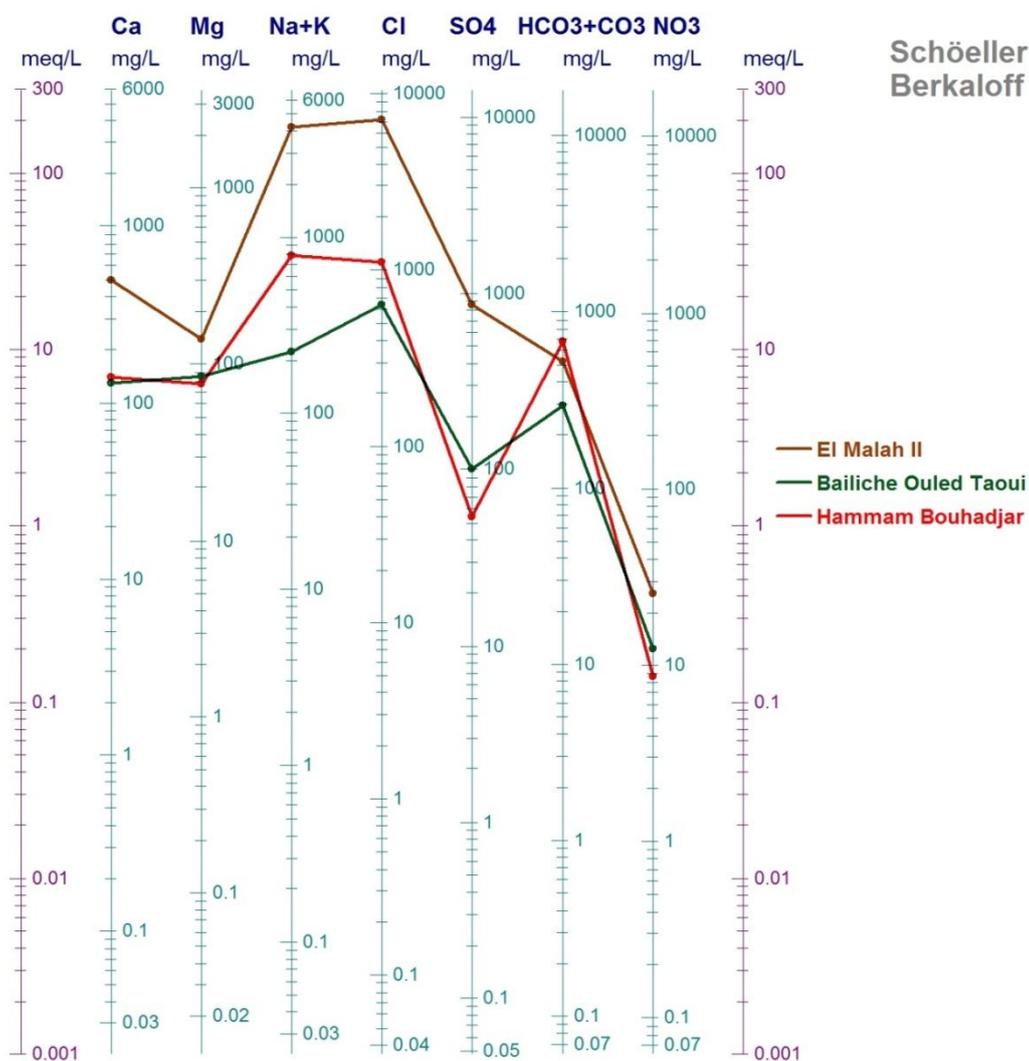


Figure III.11 : Représentation des eaux des alluvions quaternaires sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

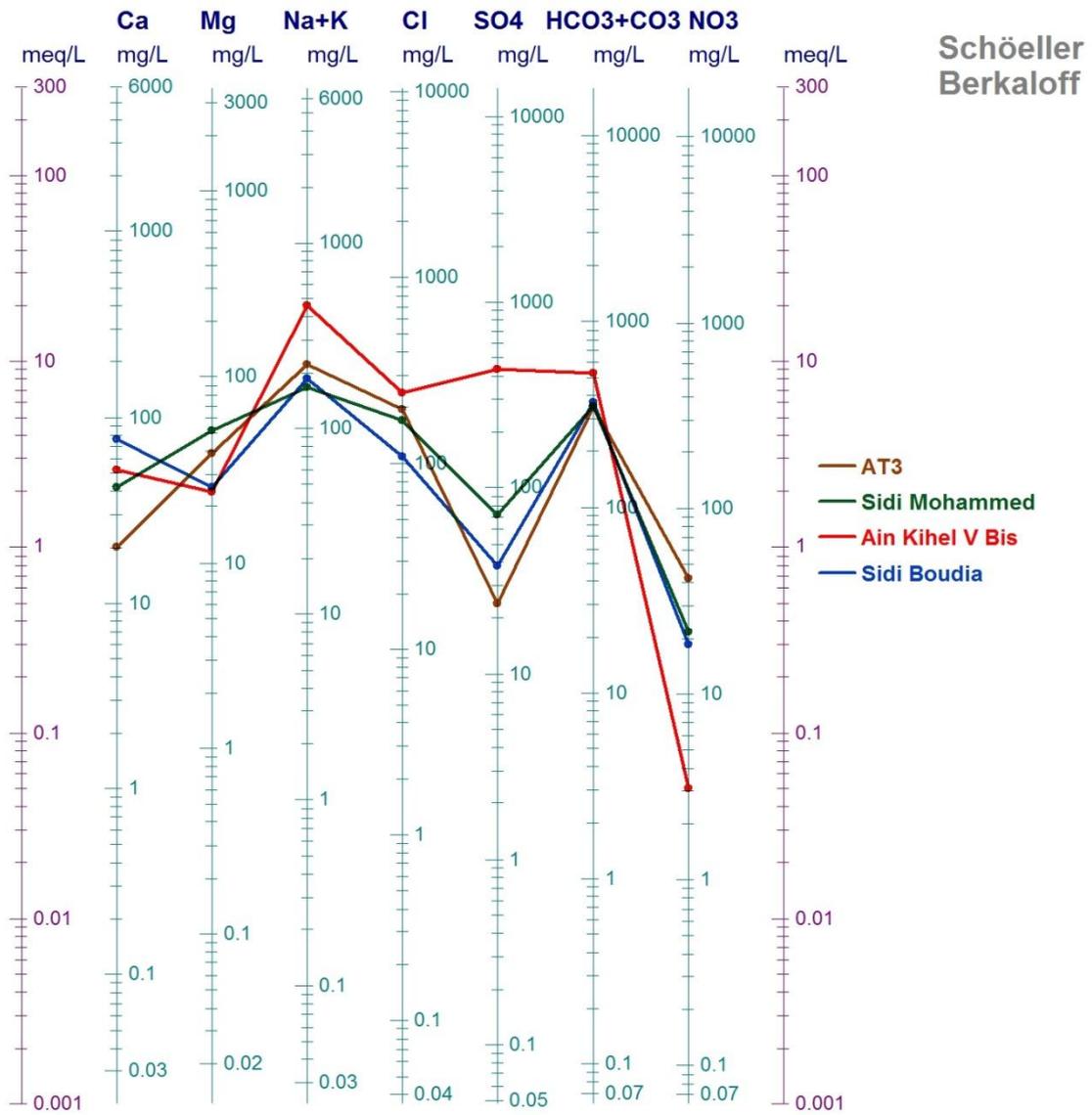


Figure III.12.a : Représentation des eaux du Plio-Quaternaire du faciès bicarbonaté sodique et sulfaté sodique sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

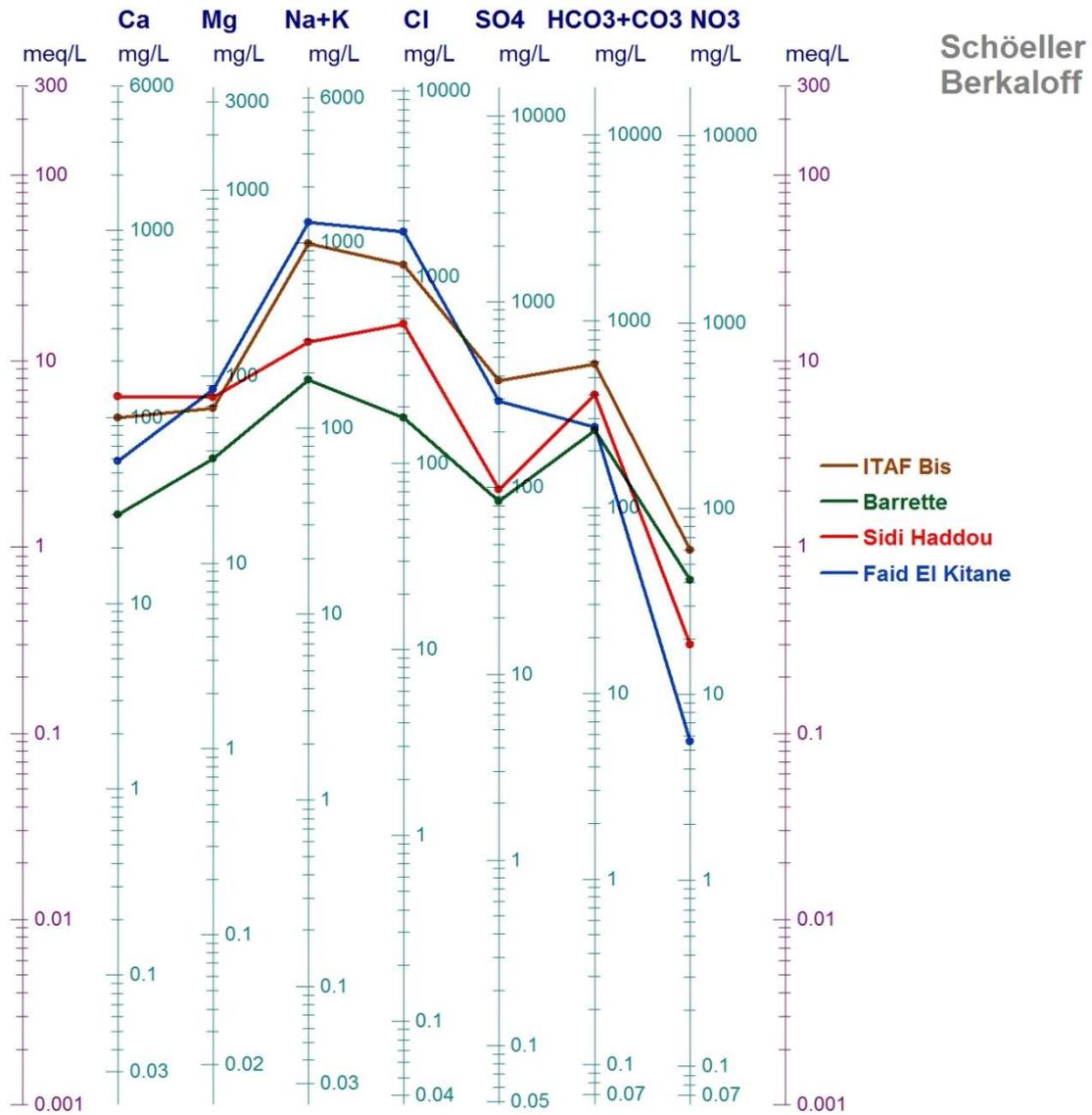


Figure III.12.b : Représentation des eaux du Plio-Quaternaire du faciès chloruré sodique sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

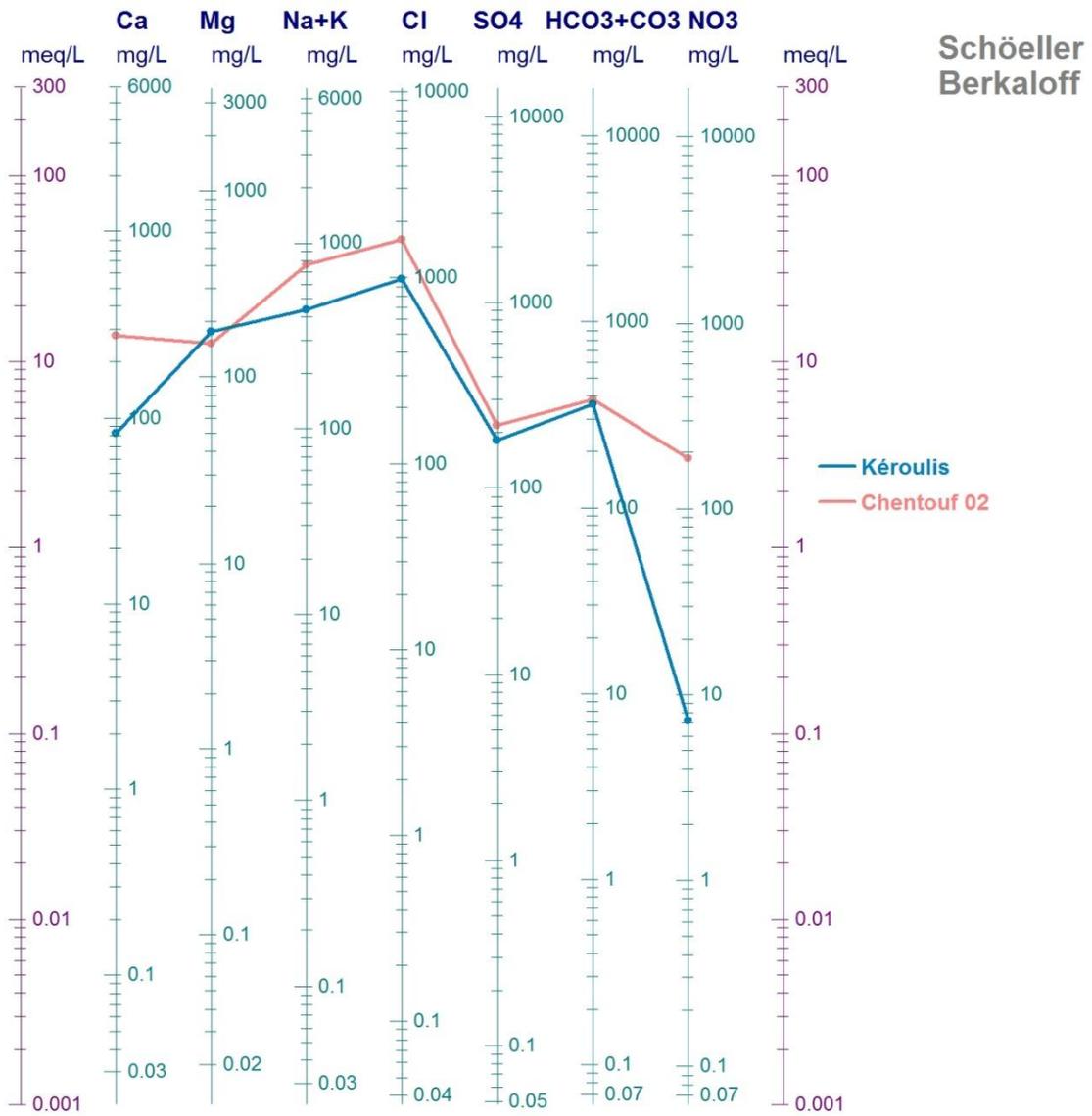


Figure III.13 : Représentation des eaux du Pliocène sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

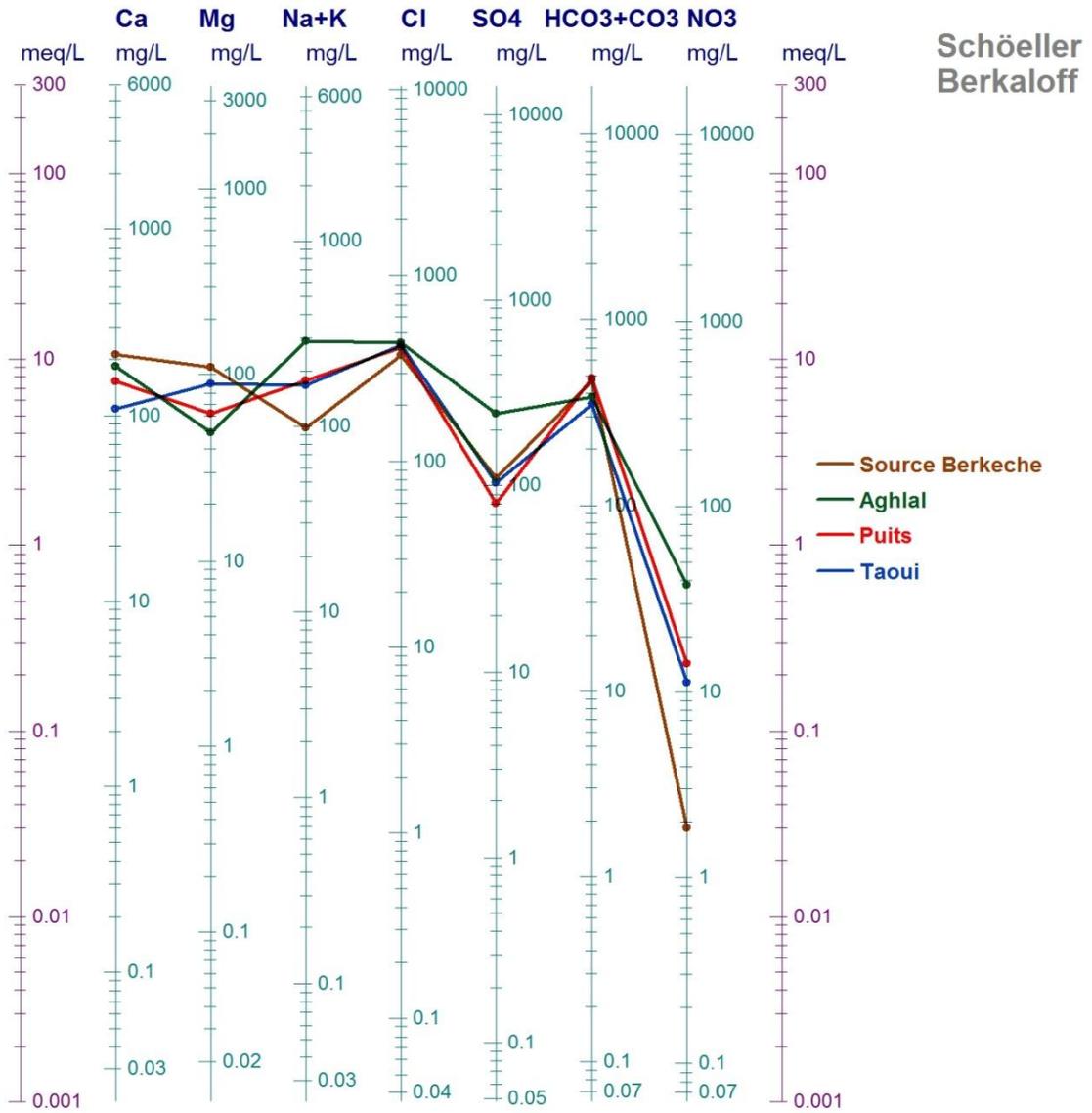


Figure III.14 : Représentation des eaux du Miocène sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

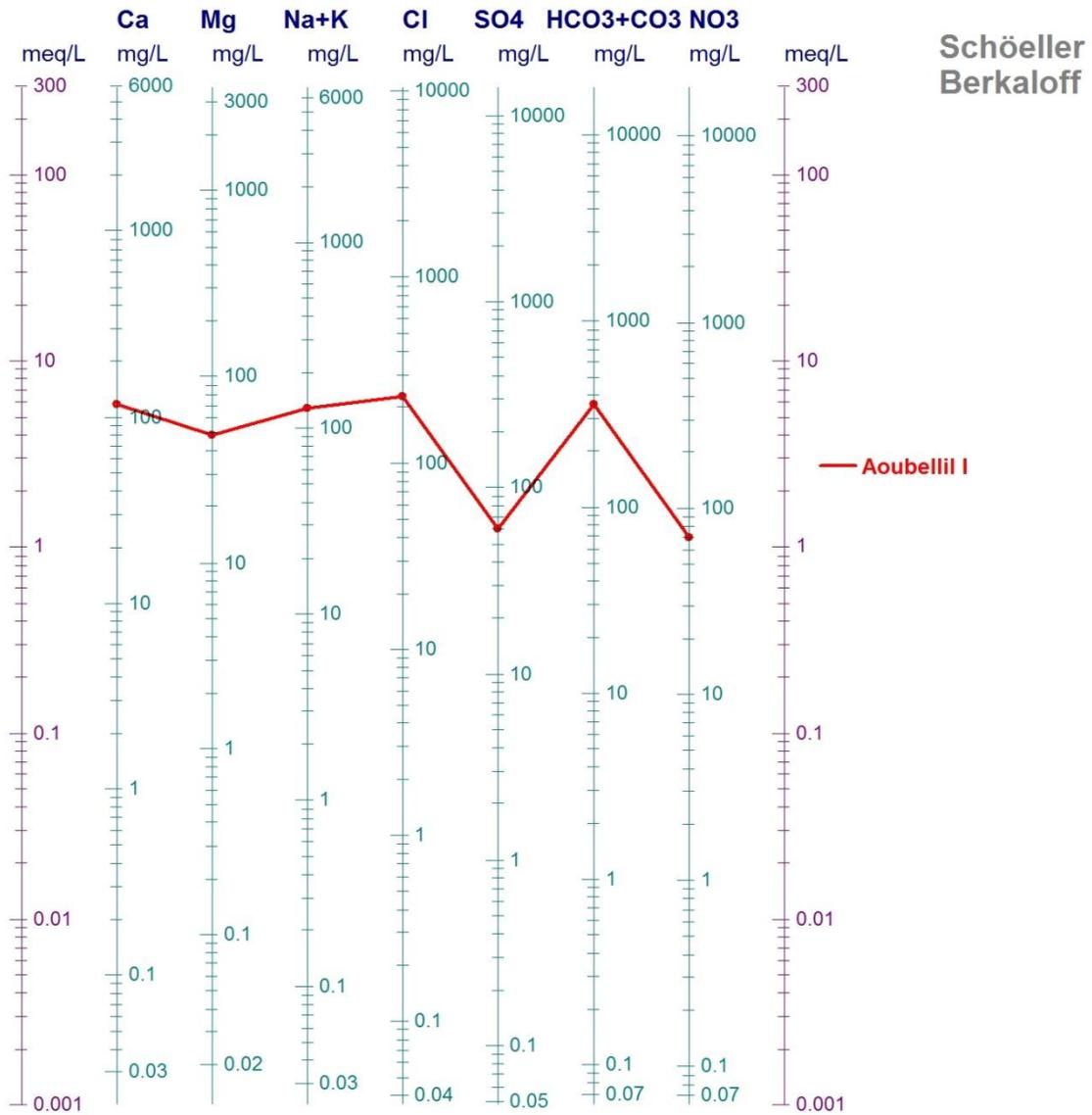


Figure III.15 : Représentation des eaux de l'Oligo-Miocène sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

V.2. Diagramme de PIPER

Ce diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global, les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

V.2.1. Eaux superficielles

La majorité des eaux superficielles appartient au groupe "Eau chlorurée sodique et potassique" mis à part Oued Aghlal, Oued Berkeche qui se trouvent à la frontière car on note une absence de cations dominants, ces deux points d'eau appartiennent au groupe "Eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne" (fig.III.16).

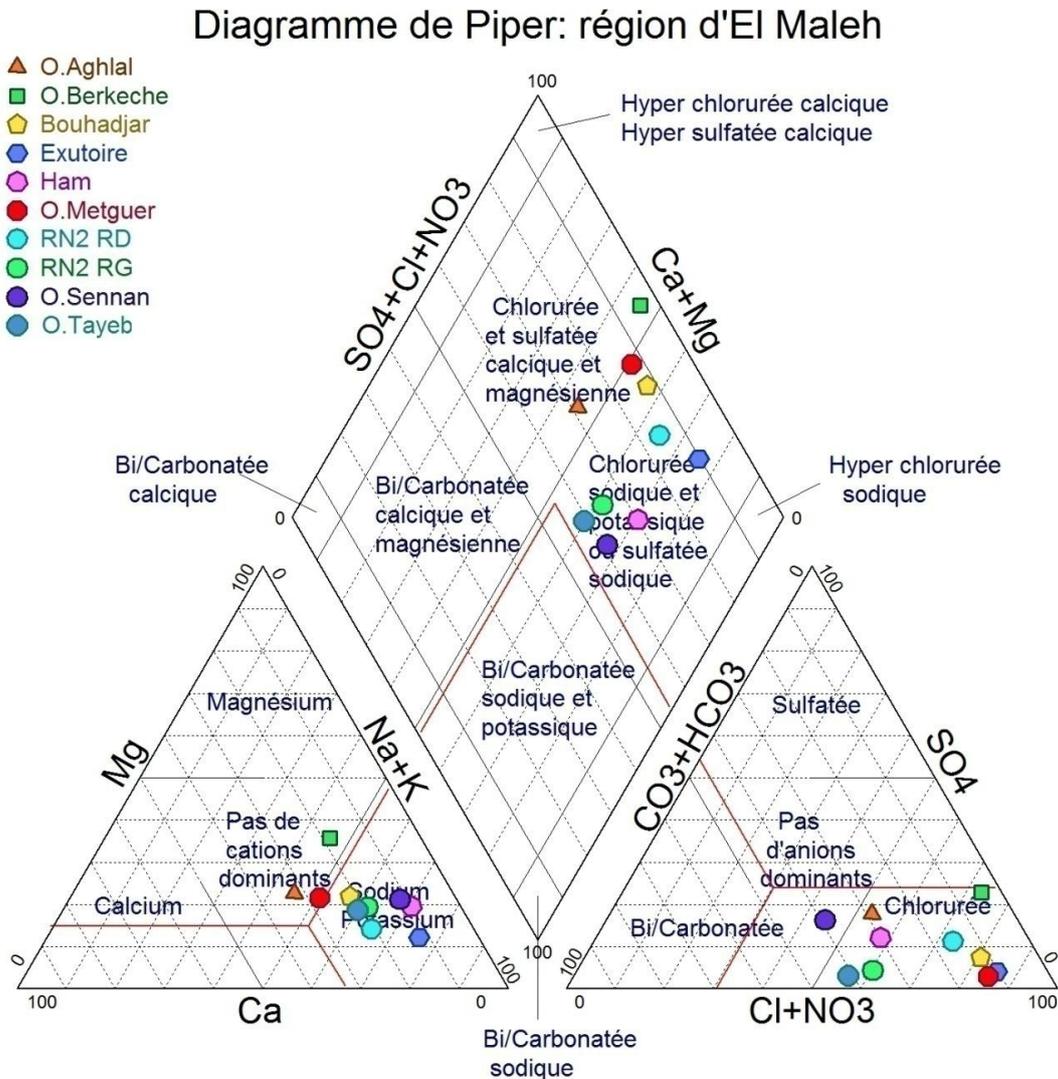


Figure III.16: Classification des eaux superficielles du bassin versant d'Oued El Malah selon le diagramme de Piper.

V.2.2. Eaux souterraines

Selon le diagramme de Piper, les eaux des alluvions quaternaires (fig.III.17) appartiennent au groupe "Eau chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique" sauf le point «Bailiche Ouled Taoui» qui appartient au groupe "Eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne".

Les eaux du Plio-Quaternaire (Fig.III.18) appartiennent au groupe "Eau chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique" à l'exception des deux points d'eau «Sidi Haddou» qui appartient au groupe "Eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne" et «Sidi Boudia» qui appartient au groupe "Eau bicarbonatée/carbonatée sodique et potassique".

Les eaux du Pliocène (fig.III.19) appartiennent au groupe "Eau chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique".

Les eaux du Miocène (fig.III.20) appartiennent au groupe "Eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne".

Les eaux d'Oligo-Miocène (fig.III.21) appartiennent au groupe "Eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne".

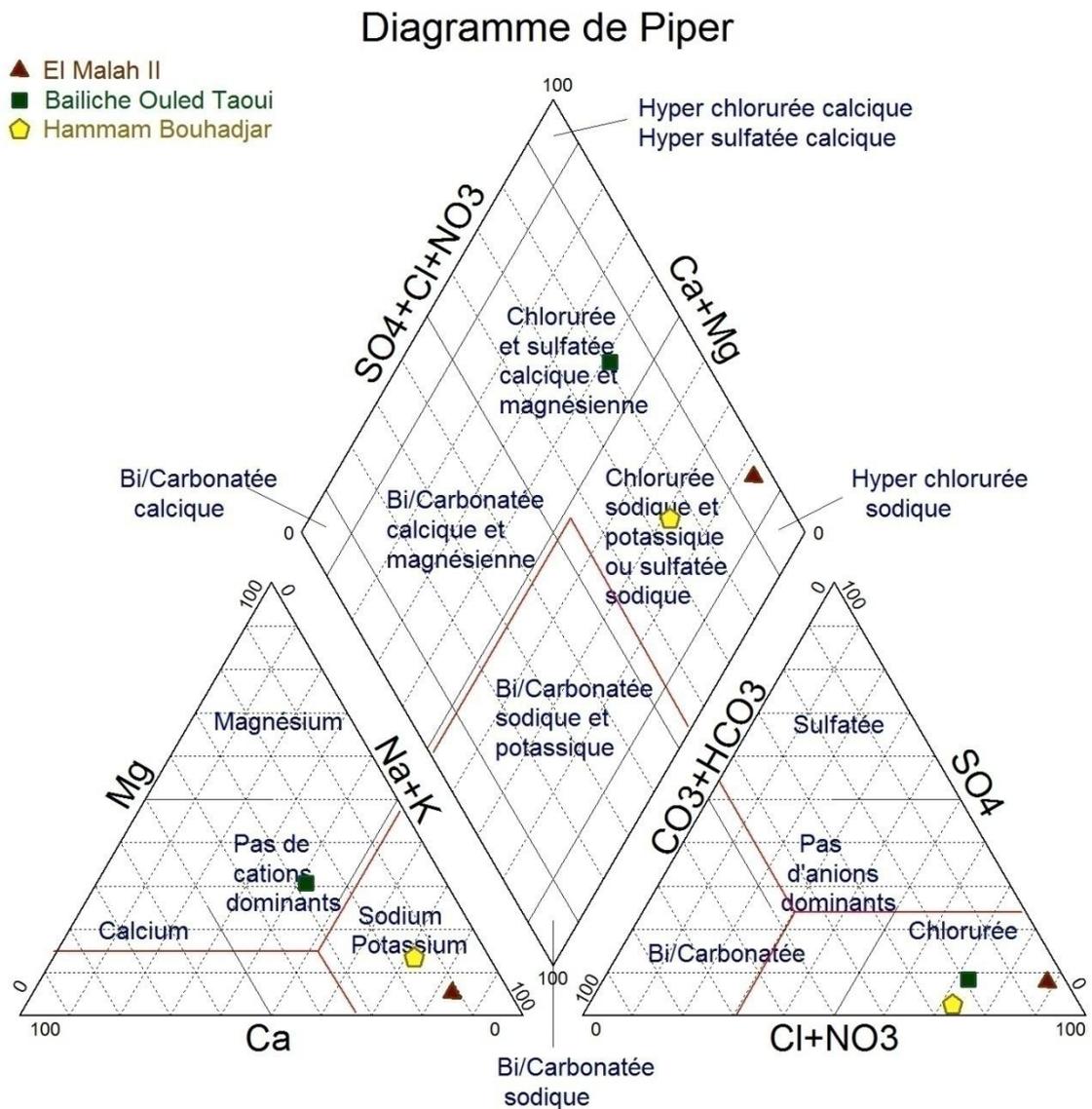


Figure III.17 : Classification des eaux des alluvions quaternaires selon le diagramme de Piper.

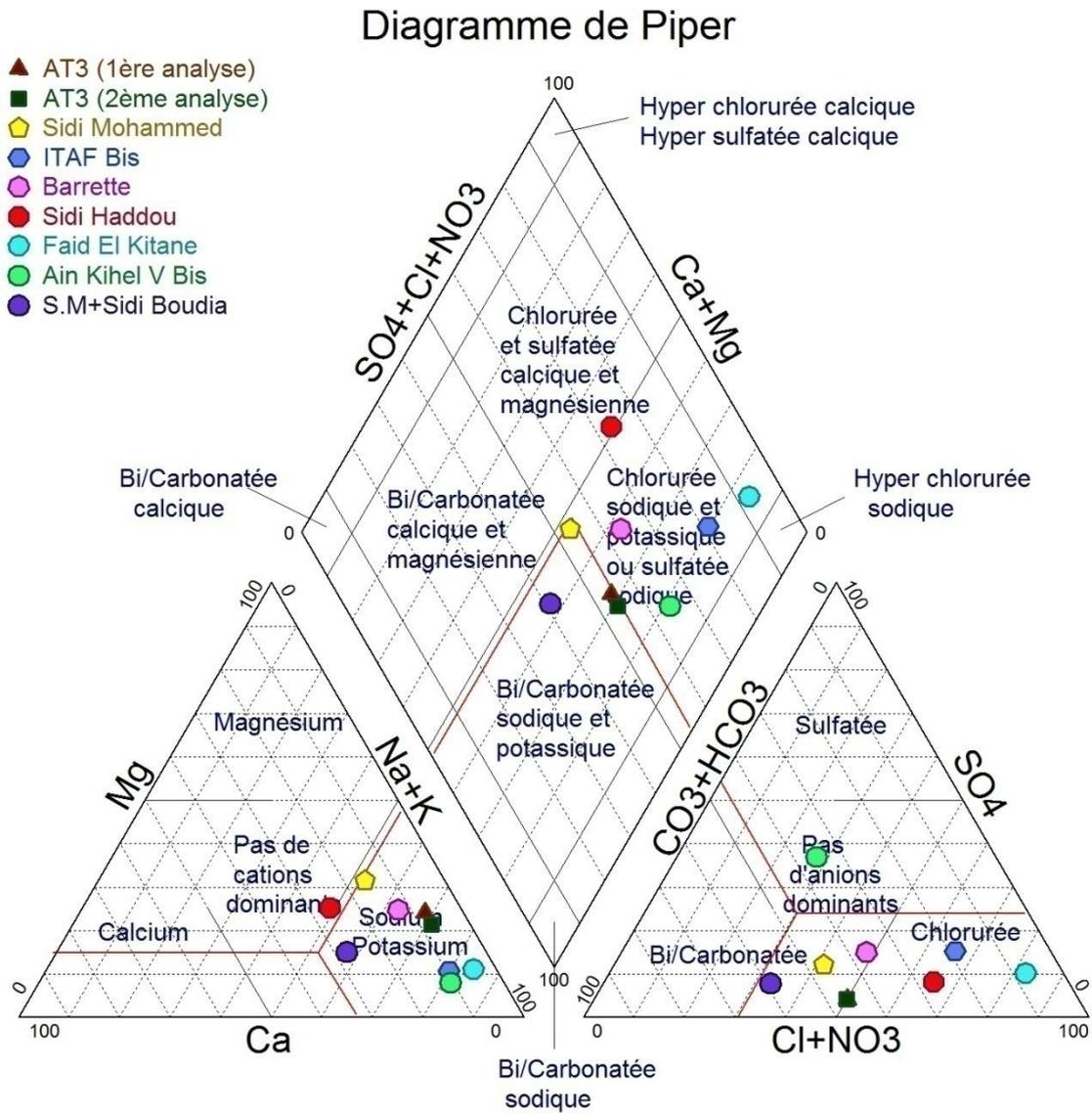


Figure III.18: Classification des eaux du Plio-Quaternaire selon le diagramme de Piper.

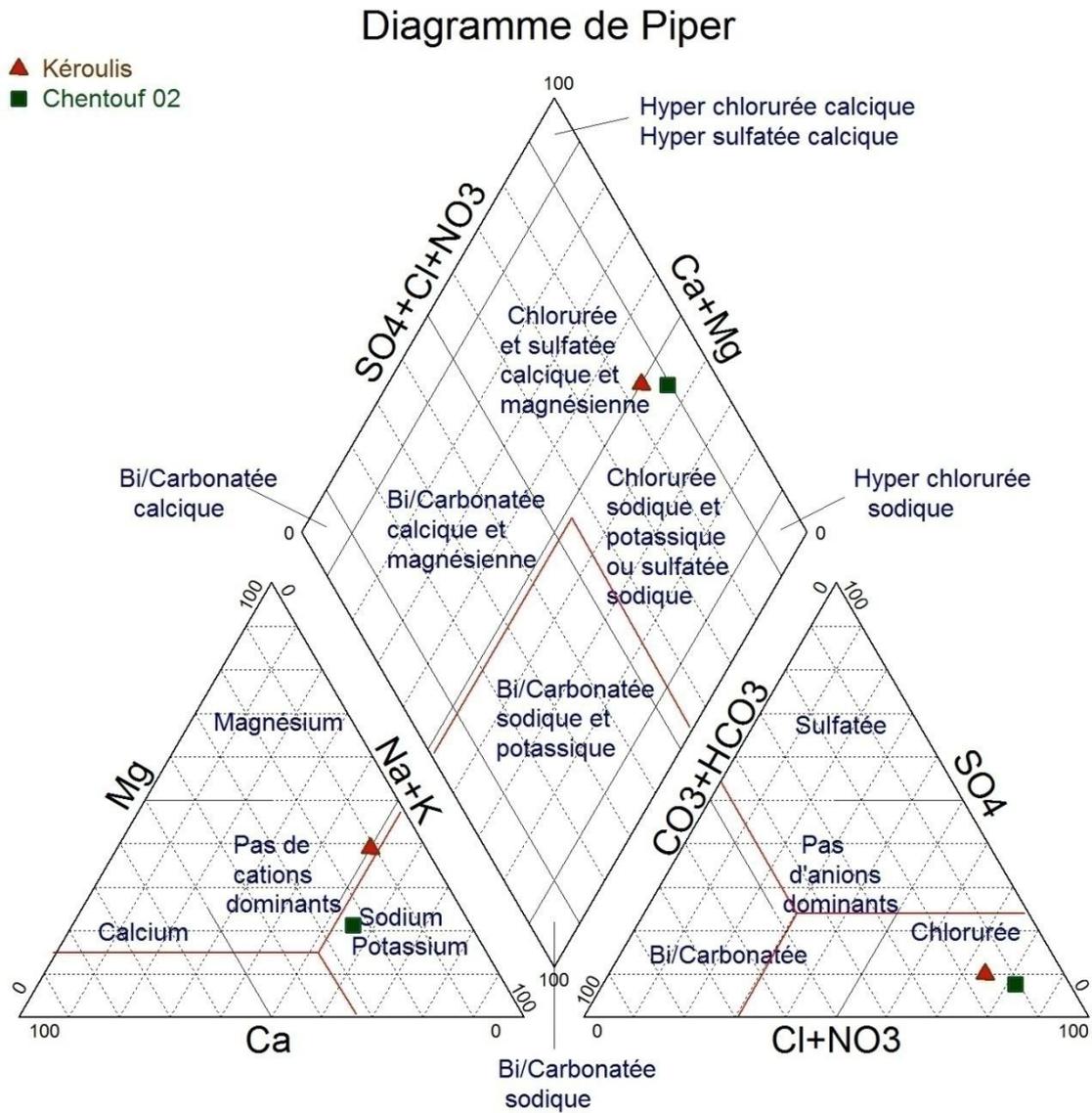


Figure III.19: Classification des eaux de Pliocène selon le diagramme de Piper.

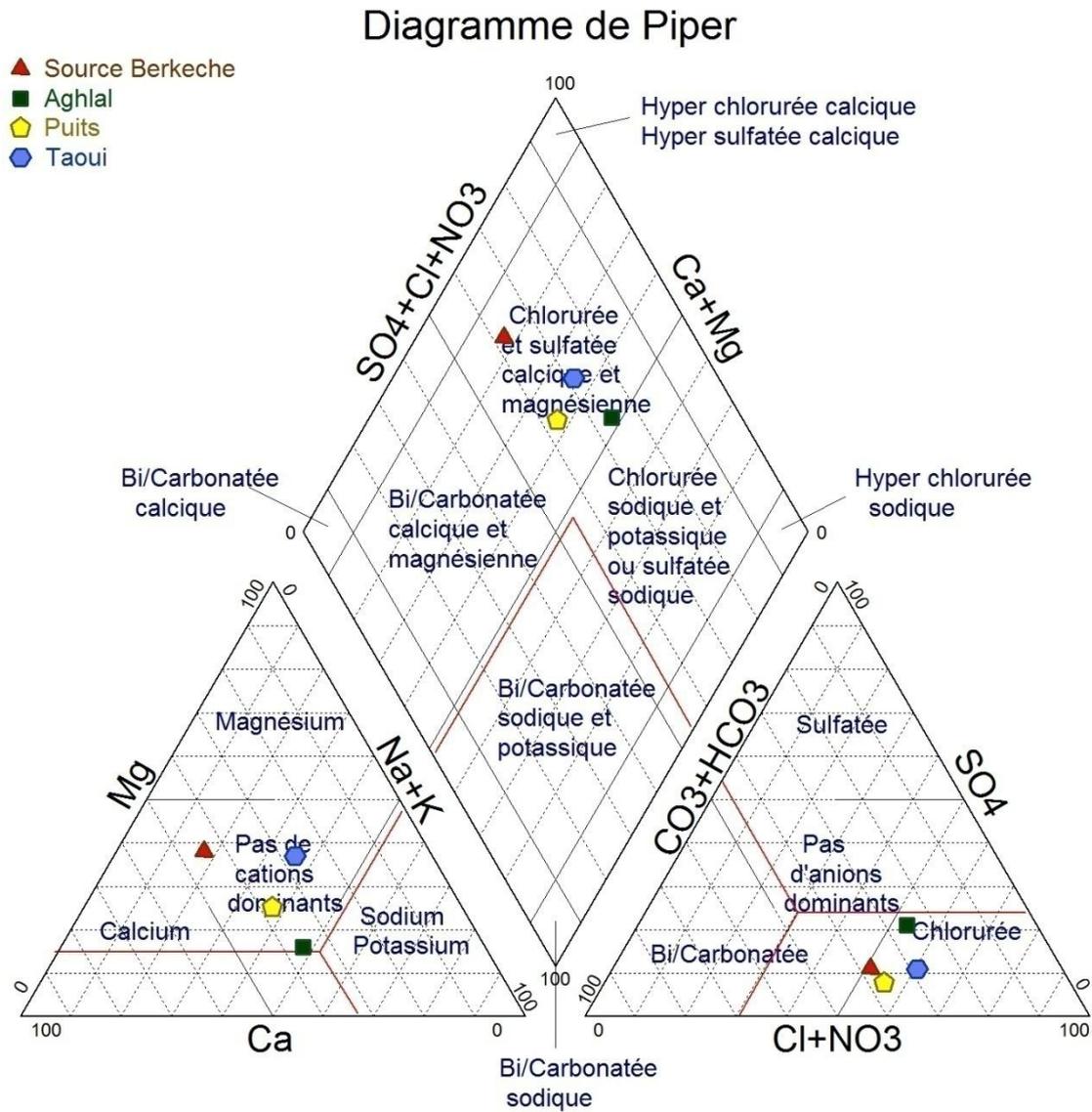


Figure III.20: Classification des eaux de Miocène selon le diagramme de Piper.

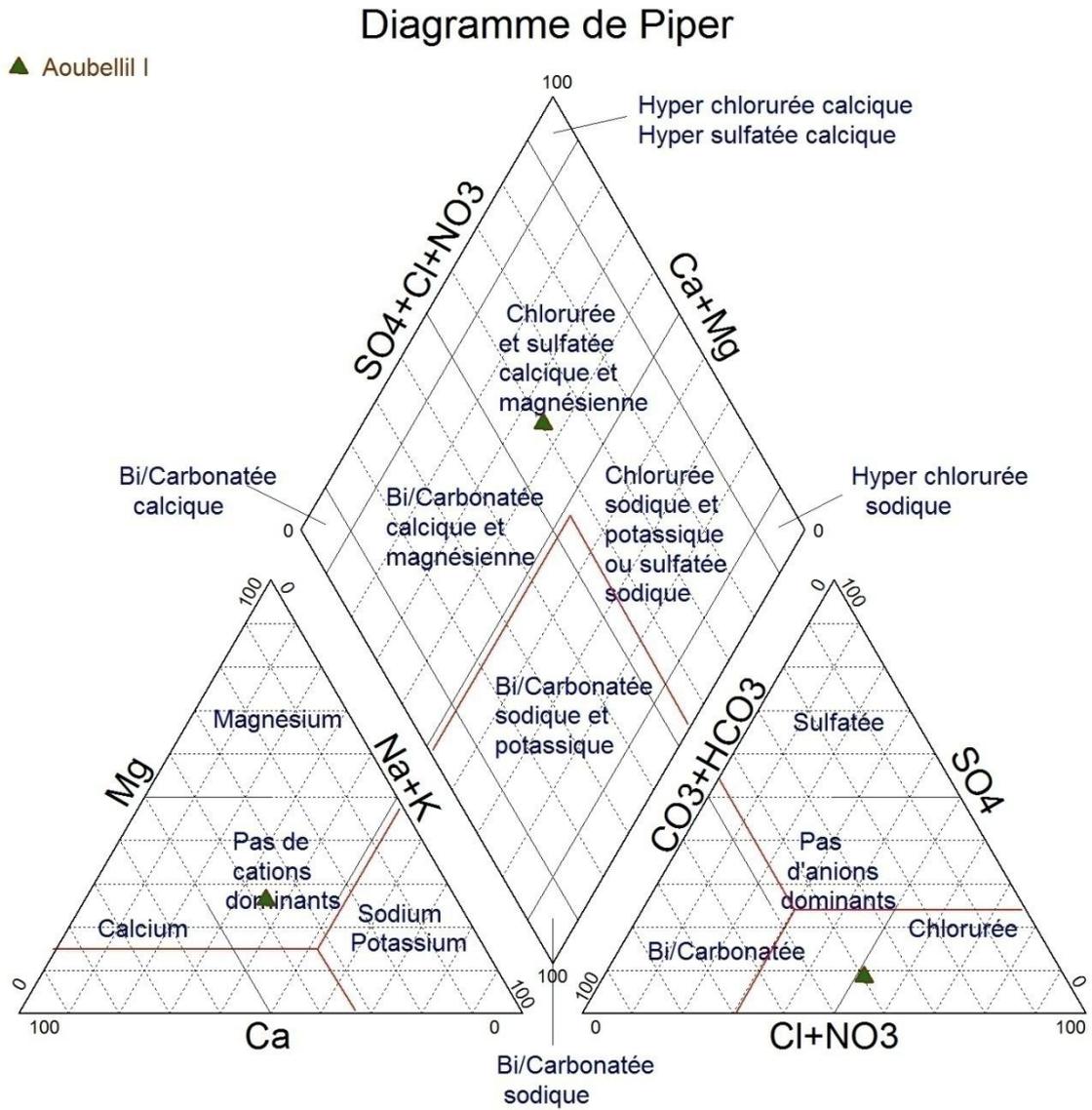


Figure III.21: Classification des eaux d'Oligo-Miocène selon le diagramme de Piper.

VI. Aptitude des eaux à l'irrigation

VI.1. Indice de Kelly's Ratio (KR)

L'indice de Kelly's Ratio (kR) est représenté par le rapport des concentrations de Na^+ , La somme de Ca^{2+} et de Mg^{2+} . Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation (**Paliwal K.V., 1967**).

Une grande concentration en Na^+ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation, cet indice est donné par la relation suivante :

$$KR = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$$

Si : **KR < 1** : l'eau est considérée comme bonne pour l'irrigation.

Si : **KR > 1** : l'est est mauvaise pour l'irrigation (elle est déconseillée).

les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} sont en méq/L.

Tableau III.8 : Classification des eaux d'Oued El Malah selon le KR.

Points d'eau	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	KR	Résultat
AT3	1	3,2	8,5	2,02	Mauvaise
El Malah II	25	11,5	180	4,93	Mauvaise
Aoubellil I	5,8	3,99	5,4	0,55	Bonne
Sidi Mohammed	2,1	4,2	6,8	1,08	Mauvaise
ITAF Bis	5	5,62	41	3,86	Mauvaise
Barrette	1,5	2,98	7	1,56	Mauvaise
Sidi Haddou	6,5	6,38	12,1	0,94	Bonne
Faid El Kitane	2,88	7,02	50,5	5,1	Mauvaise
Bailiche Ouled Taoui	6,48	7,09	9,5	0,7	Bonne
Kéroulis	4,1	14,5	18,47	0,99	Bonne
H.B	7	6,35	33	2,47	Mauvaise
Chentouf 02	13,87	12,45	32	1,22	Mauvaise
Ain Kihel V Bis	2,6	1,97	19,7	4,31	Mauvaise
Sidi Boudia	3,8	2,09	7,82	1,33	Mauvaise
Source Berkeche	10,6	9	3,91	0,2	Bonne
Aghlal	9,13	4,05	11,82	0,9	Bonne
O. Aghlal	9,731	6,83	13,31	0,8	Bonne
O. Berkeche	12,82	24,77	31,41	0,84	Bonne
Bouhadjar	16,57	17,03	43,54	1,3	Mauvaise
Exutoire	12,72	12,59	78,56	3,1	Mauvaise
Ham	3,892	7,653	26,62	2,31	Mauvaise
O. Metguer	23,5	18,35	43,02	1,03	Mauvaise
Puits	7,585	5,102	7,395	0,58	Bonne

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

RN2 RD	13,67	9,298	42,02	1,83	Mauvaise
RN2 RG	5,788	5,925	18,01	1,54	Mauvaise
O. Sennan	2,894	5,266	15,92	1,95	Mauvaise
Taoui	5,389	7,324	7,003	0,55	Bonne
O. Tayeb	7,635	6,583	20,4	1,43	Mauvaise

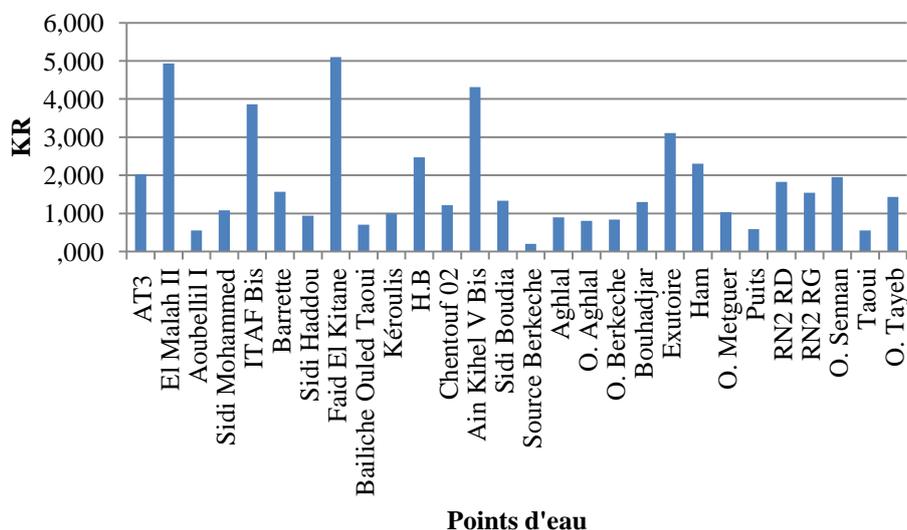


Figure III.22 : Histogramme présente les variations de Kelly's Ratio.

D'après la fig.III.22 nous remarquons que la plupart des valeurs de KR sont supérieur à 1, qui indique une mauvaise qualité d'eau pour l'irrigation, mis à part les sources Aoubellil I, Baïliche Ouled Taoui, Kéroulis Source Berkeche, Aghlal, O. Aghlal, O. Berkeche, puits, Taoui. Cela est dû à la forte teneur en sodium pour la plus part des points.

VI.2. pourcentage du sodium (Na%) et classification des eaux par la méthode de Wilcox

Il est basé sur la concentration totale des sels dissous et le pourcentage de Sodium par rapport aux autres sels dans l'eau (Wilcox, 1955).

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

Tableau III.9 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na

Paramètre	Classe 1 Très bonne	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 Mauvaise
%Na	<20	20-40	40-60	60-80	>80

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

Tableau III.10 : Classification des eaux d'irrigation d'Oued El Malah selon le %Na

<i>Nom</i>	Ce ($\mu\text{S/cm}$)	Na%	Résultat
<i>AT3</i>	1100	68,44	Médiocre
<i>El Malah II</i>	18700	83,23	Mauvaise
<i>Aoubellil I</i>	1400	35,97	Bonne
<i>Sidi Mohammed</i>	1000	52,81	Admissible
<i>ITAF Bis</i>	4960	79,81	Médiocre
<i>Barrette</i>	1210	62,7	Médiocre
<i>Sidi Haddou</i>	2320	49,11	Admissible
<i>Faid El Kitane</i>	5770	84,37	Mauvaise
<i>Bailiche Ouled Taoui</i>	2400	41,56	Admissible
<i>Kéroulis</i>	3630	50,23	Admissible
<i>H.B</i>	4360	71,66	Médiocre
<i>Chentouf 02</i>	4800	55,43	Admissible
<i>Ain Kihel V Bis</i>	1924	81,32	Mauvaise
<i>Sidi Boudia</i>	700	57,44	Admissible
<i>Source Berkeche</i>	1770	17,44	Très bonne
<i>Aghlal</i>	2000	48,03	Admissible
<i>O. Aghlal</i>	2500	45,12	Admissible
<i>O. Berkeche</i>	5520	45,82	Admissible
<i>Bouhadjar</i>	7060	56,73	Admissible
<i>Exutoire</i>	9320	75,79	Médiocre
<i>Ham</i>	3220	70,52	Médiocre
<i>O. Metguer</i>	7640	50,91	Admissible
<i>Puits</i>	1920	37,3	Bonne
<i>RN2 RD</i>	5630	65,1	Médiocre
<i>RN2 RG</i>	2540	61,65	Médiocre
<i>O. Sennan</i>	1980	67,23	Médiocre
<i>Taoui</i>	1780	35,94	Bonne
<i>O. Tayeb</i>	3040	59,88	Bonne

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

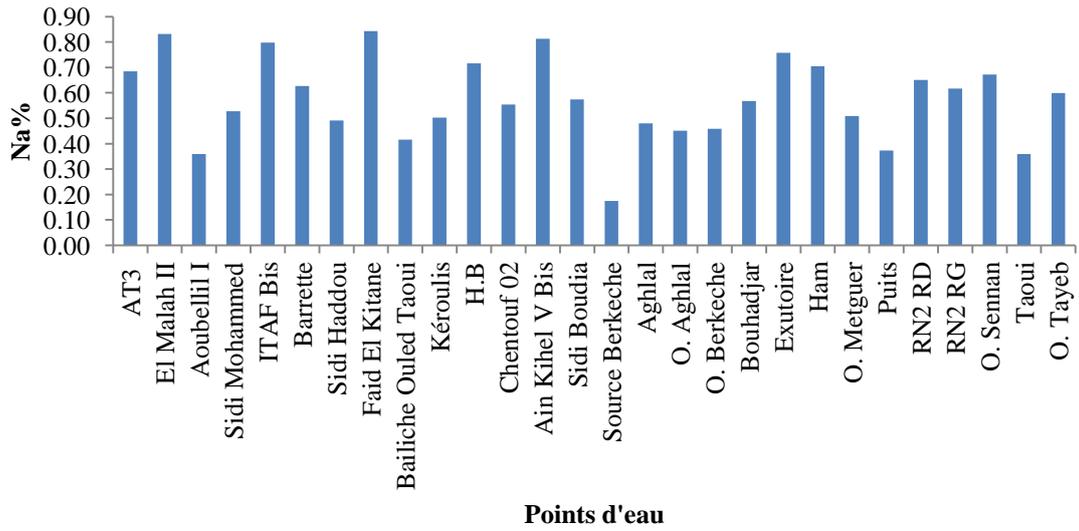


Figure III.23 : Variations du pourcentage en sodium (Na%)

La figure III.23 et le tableau III.10, montrent que les eaux de la région sont qualifiées de très bonne, bonne, admissible, médiocre et mauvaise pour l'irrigation.

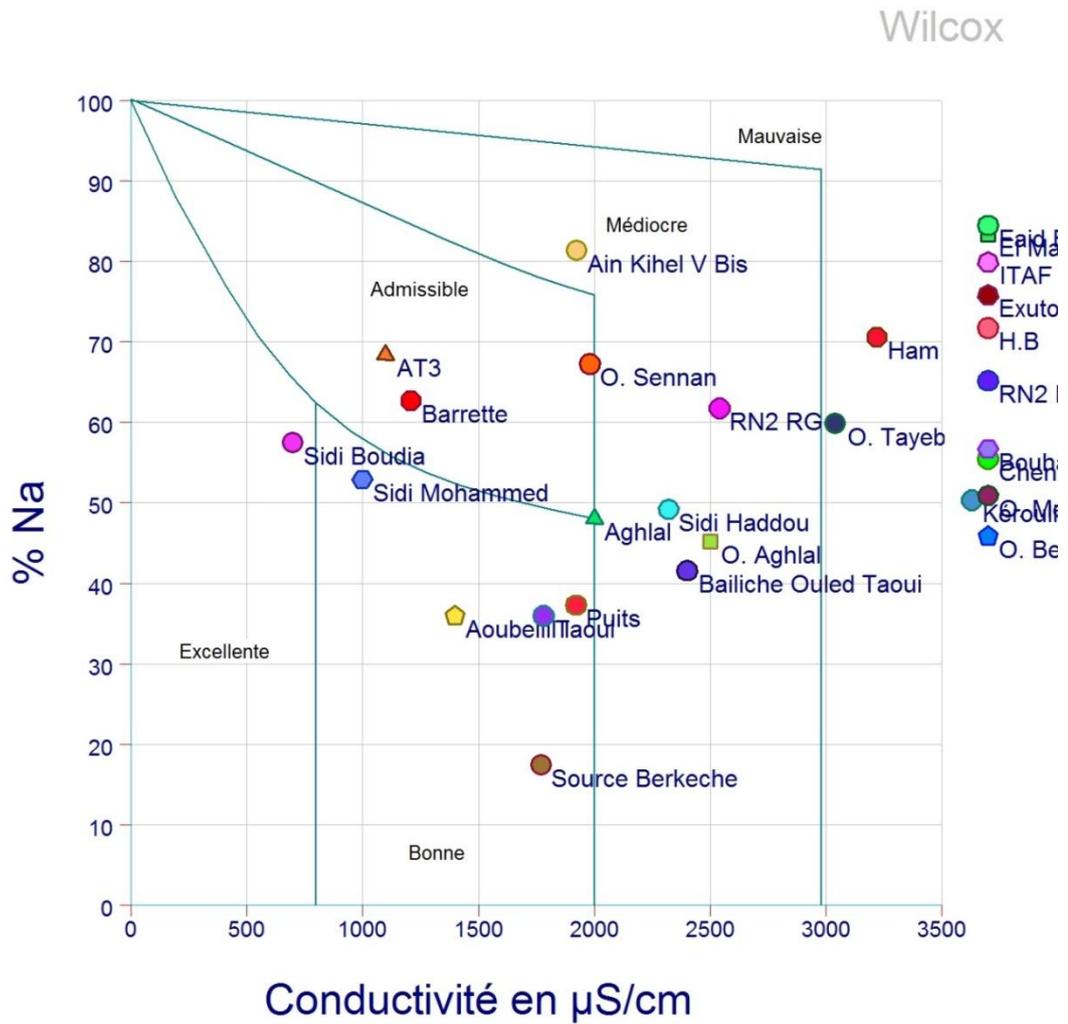


Figure III.24 : Diagramme de Wilcox.

D'après la figure III.24 nous remarquons que les eaux d'Oued El Malah appartient du cinq classe excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise pour l'irrigation.

VI.3. Sodium Alcalinity Ratio" SAR"

Vu le futur développement de l'agriculture dans notre région d'étude, nous avons jugé utile de déterminer la convenance des eaux souterraines ou bien superficielles à l'irrigation. Pour cela, nous avons établi le S.A.R qui se définit par l'équation suivante:

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{2+} + rMg^{2+}) \div 2}}$$

rNa⁺: Concentration du Sodium (meq/L).

rCa²⁺: Concentration du Calcium (meq/L).

rMg²⁺: Concentration du Magnésium (meq/L).

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

- **SAR < 10** : Eaux excellentes (eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols).
 - **10 ≤ SAR ≤ 18** : Eaux bonnes (eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation).
 - **18 ≤ SAR ≤ 26** : Eaux convenables (eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation)
 - **SAR > 26** : Eaux médiocres (eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort).
- Les valeurs du S.A.R et de la conductivité sont données dans le tableau ci-dessous:

Tableau.III.11: Valeurs du S.A.R et de la conductivité pour les eaux du bassin versant d'Oued El Malah.

<i>Points d'eau</i>	<i>SAR</i>	<i>Conductivité (µS/cm)</i>	<i>Remarque</i>
<i>AT3</i>	5,87	1100	Excellente
<i>El Malah II</i>	42,13	18700	Médiocre
<i>Aoubellil I</i>	2,44	1400	Excellente
<i>Sidi Mohammed</i>	3,83	1000	Excellente
<i>ITAF Bis</i>	17,79	4960	Bonne
<i>Barrette</i>	4,68	1210	Excellente
<i>Sidi Haddou</i>	4,77	2320	Excellente
<i>Faid El Kitane</i>	22,7	5770	Convenable
<i>Bailiche Ouled Taoui</i>	3,65	2400	Excellente
<i>Kéroulis</i>	6,06	3630	Excellente
<i>H.B</i>	12,77	4360	Bonne
<i>Chentouf 02</i>	8,82	4800	Excellente
<i>Ain Kihel V Bis</i>	13,03	1924	Bonne
<i>Sidi Boudia</i>	4,56	700	Excellente
<i>Source Berkeche</i>	1,25	1770	Excellente
<i>Aghlal</i>	4,6	2000	Excellente
<i>O. Aghlal</i>	4,63	2500	Excellente
<i>O. Berkeche</i>	7,25	5520	Excellente
<i>Bouhadjar</i>	10,62	7060	Bonne
<i>Exutoire</i>	22,08	9320	Convenable
<i>Ham</i>	11,08	3220	Bonne
<i>O. Metguer</i>	9,4	7640	Excellente
<i>Puits</i>	2,94	1920	Excellente
<i>RN2 RD</i>	12,4	5630	Bonne
<i>RN2 RG</i>	7,44	2540	Excellente
<i>O. Sennan</i>	7,88	1980	Excellente
<i>Taoui</i>	2,78	1780	Excellente
<i>O. Tayeb</i>	7,65	3040	Excellente

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

Nous reportons les valeurs calculées du S.A.R en fonction de celles de la conductivité sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation qui comporte des classes de différentes qualités d'eau (fig.III.25).

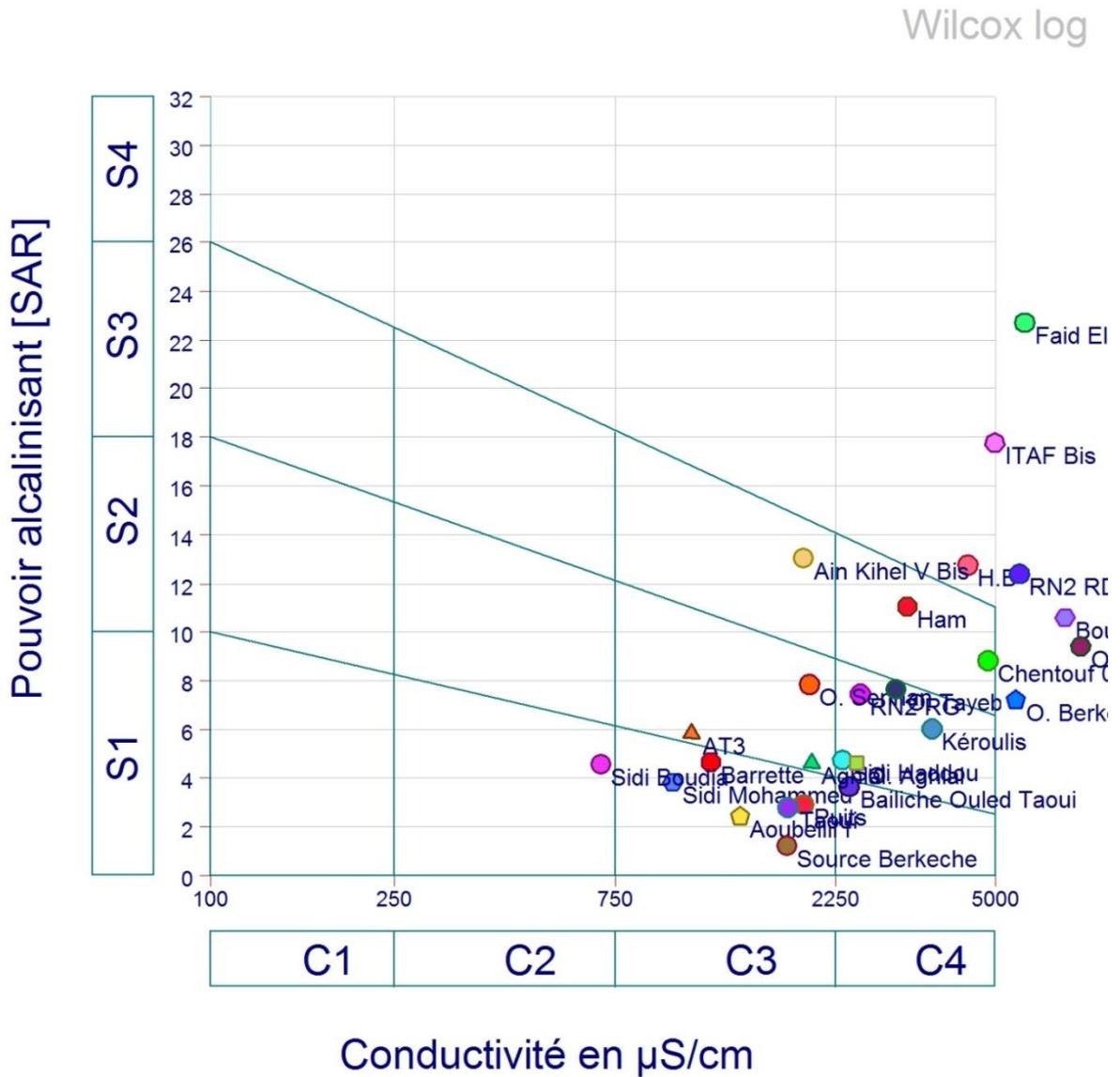


Figure III.25: S.A.R des eaux du bassin versant d'Oued El Malah.

La position de ce point caractérise la qualité des points d'eau du bassin d'Oued El Malah pour l'irrigation, ceci est précisé dans le tableau.III.12 (D'après J. Servant 1975, classification des eaux d'irrigation, U.S salinity LAB).

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

Tableau.III.12: Classification des eaux destinées à l'irrigation.

Degré	Qualité	Classe	Description
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions: sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

D'après la figure.III.25, nous remarquons que les points d'eau s'inscrivent dans huit classes: C2-S1, C3-S1, C4-S1, C3-S2, C4-S2, C3-S3, C4-S3, C4-S4.

Et en se référant au tableau.III.12, nous constatons que:

- Le point d'eau " Sidi Boudia" situé à la classe "C2-S1", présente une eau de bonne qualité pour l'irrigation.
- Les points d'eau "Sidi Mohammed, Barrette, Aoubellil I, Source Berkeche, Puits, Taoui" appartenant à la classe "C3-S1" révèlent des eaux convenables pour l'irrigation.
- Le point d'eau "Bailiche Ouled Taoui" (classe C4-S1) présente une eau de qualité médiocre pour l'irrigation.
- Les points d'eau "AT₃, Aghlal, O. Sennan" localisés à la classe "C3-S2", présentent des eaux admissibles pour l'irrigation.
- Les points d'eau "Sidi Haddou, O. Aghlal, Kéroulis, RN2 RG, O. Tayeb" appartenant à la classe "C4-S2" révèlent des eaux médiocres pour l'irrigation.
- Le point d'eau "Ain Kihel V Bis" (classe C3-S3) révèle une eau médiocre pour l'irrigation.
- Les points d'eau "Ham, Chentouf 02, O. Berkeche, O. Metguer" (classe C4-S3) présentent des eaux mauvaises pour l'irrigation.
- Les points d'eau "Bouhadjar, RN2 RD, Hammam Bouhadjar, ITAF Bis, Faid El Kitane, Exutoire, El Malah II" situés à la classe "C4-S4", présentent des eaux de mauvaises qualités pour l'irrigation.

VII. Rapports caractéristiques

On appelle rapport caractéristique, le rapport de certains éléments chimiques exprimés en meq/L. Les rapports étudiés dans notre cas sont: rMg^{2+}/rCa^{2+} , $(rCa^{2+}+rMg^{2+})/rNa^+$, rSO_4^{2-}/rCl^- , $rHCO_3^-/rCl^-$.

Tableau III.13: Résultats des rapports caractéristiques.

Point d'eau	rMg^{2+}/Ca^{2+}	$(rCa^{2+}+rMg^{2+})/rNa^+$	rSO_4^{2-}/rCl^-	$rHCO_3^-/rCl^-$
AT3 (1 ^{ère} analyse)	3,2	0,494	0,091	1,027
El Malah II	0,46	0,203	0,09	0,043
Aoubellil I	0,688	1,813	0,193	0,901
Sidi Mohammed	2	0,926	0,313	1,202
ITAF Bis	1,124	0,259	0,237	0,293
Barrette	1,987	0,64	0,354	0,857
Sidi Haddou	0,982	1,064	0,128	0,417
Faid El Kitane	2,438	0,196	0,124	0,09
Bailiche Ouled Taoui	1,094	1,428	0,116	0,268
Kéroulis	3,537	1,007	0,133	0,211
H.B	0,907	0,405	0,036	0,35
Chentouf 02	0,898	0,823	0,101	0,139
Ain Kihel V Bis	0,758	0,232	1,341	1,294
Sidi Boudia	0,55	0,753	0,261	1,954
Source Berkeche	0,849	5,013	0,22	0,744
Aghlal	0,444	1,115	0,414	0,508
O. Aghlal	0,702	1,244	0,344	0,557
O. Berkeche	1,931	1,197	0,323	0,059
Bouhadjar	1,028	0,772	0,093	0,15
Exutoire	0,989	0,322	0,046	0,121
Ham	1,966	0,434	0,208	0,517
O. Metguer	0,781	0,973	0,036	0,151
Puits	0,673	1,716	0,145	0,677
RN2 RD	0,68	0,547	0,155	0,213
RN2 RG	1,024	0,65	0,073	0,592
O. Sennan	1,82	0,513	0,368	0,888
Taoui	1,359	1,815	0,182	0,481
O. Tayeb	0,862	0,697	0,058	0,741

- Le rapport rMg^{2+}/rCa^{2+} est supérieur à 1 pour les points d'eau "AT₃, Sidi Mohammed, ITAF Bis, Barrette, Faid El Kitane, Bailiche Ouled Taoui, Kéroulis, O. Berkeche, Bouhadjar, Ham, RN2 RG, O. Sennan, Taoui"; ce qui traduit la dominance du

magnésium, ainsi qu'il est inférieur à 1 pour les points restants traduisant la dominance du calcium, cela est due à la solubilité des calcaires riches en calcium.

- Le rapport $(rCa^{2+}+rMg^{2+})/rNa^+$ est supérieur à 1 pour les points "Aoubellil I, Sidi Haddou, Bailiche Ouled Taoui, Kéroulis, Source Berkeche, Aghlal, O. Aghlal, O. Berkeche, Puits, Taoui"; ce qui signifie la dominance du calcium et le magnésium, tandis qu'il est inférieur à 1 indiquant la dominance du sodium pour les points d'eau qui restent.
- Le rapport rSO_4^{2-}/rCl^- est généralement inférieur à 1 mis à part le forage "Ain Kihel V Bis", ce qui indique la nette dominance des chlorures sur les sulfates.
- Le rapport $rHCO_3^-/rCl^-$ est inférieur à 1, ce qui indique la dominance des chlorures pour la plupart des points d'eau sauf aux points "AT₃, Sidi Mohammed, Ain Kihel V Bis, Sidi Boudia" où il est supérieur à 1 traduisant la dominance des bicarbonates qui est liée essentiellement aux formations carbonatées.

VII. Conclusion

À partir des analyses physico-chimiques, on peut dire que les eaux du bassin versant d'Oued El Malah ont:

- Une conductivité comprise entre 700 et 18700 $\mu S/cm$ pour les eaux souterraines, les fortes valeurs peuvent être liées à une contamination par des eaux salées provenant soit de la mer ou bien de la Sebkhah d'Oran et entre 1980 et 9320 $\mu S/cm$ pour les eaux superficielles.

- Une minéralisation élevée pour les deux types d'eaux souterraines ou superficielles (les Oueds).

- Un résidu sec entre 720 et 14040 mg/L pour les eaux souterraines et entre 1480 et 6360 mg/L pour les eaux superficielles, les hautes teneurs peuvent être dues aux venues d'eaux salées dans le bassin.

- Un pH de 6,99 à 8,2 pour les eaux souterraines et de 6,95 à 8,52 pour les eaux superficielles.

On constate une prédominance des ions sodium et des chlorures pour la plupart des points d'eau.

La minéralisation des eaux progresse du Sud vers le Nord, cela est due principalement à la nature lithologique des formations traversées comme par exemple le Plio-Quaternaire (Sud- ouest du bassin) est représenté par des basaltes moins solubles dans l'eau tandis que le Miocène est représenté par des calcaires qui sont solubles dans l'eau et due aussi aux venues d'eaux salées vers le Nord.

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff nous permet de distinguer cinq familles de faciès:

- Chloruré Sodique,
- Chloruré Calcique,
- Chloruré Magnésique,
- Bicarbonaté Sodique,
- Sulfaté Sodique.

La classification du diagramme de salinité présente une qualité bonne, admissible, médiocre et parfois mauvaise à l'irrigation par endroit.

CHAPITRE IV:

**Application des tests
statistiques
aux données hydrochimiques**

I. Introduction

Que ce soit à l'issue d'une enquête, par observation directe ou à la suite d'une expérimentation, nous disposons à présent d'un ensemble de données. Elles nous sont généralement fournies de façon brute sauf, bien sûr, si elles ont déjà été traitées par ailleurs. Supposons toutefois que nous ayons déjà franchi un certain nombre d'étapes dans notre analyse de ces données : nous savons pourquoi les données ont été recueillies, à quelles variables elles correspondent, quelles échelles de mesure et quels codages ont été utilisés.

Il nous faut à présent traiter cet ensemble de données. Tout naturellement, cela commence par les organiser, les regarder, les représenter graphiquement, regrouper celles qui se ressemblent, élaborer les moyens de rassembler l'information sous une forme aisée à manipuler, cela est fait par l'utilisation des méthodes comme la boîte à moustaches, l'analyse en composantes principales, la classification ascendante hiérarchique. Dans ce chapitre nous avons expliqué ces méthodes d'après l'utilisation d'une série statistique hydrochimique.

II. Boîte à moustaches de Tukey

La boîte à moustaches une traduction de Box & Whiskers Plot, est une invention de TUKEY (1977) pour représenter schématiquement la distribution d'une variable.

Cette représentation graphique peut être un moyen pour approcher les concepts abstraits de la statistique.

II.1. Principe de la boîte à moustaches

La boîte à moustaches résume seulement quelques caractéristiques de position du caractère étudié (médiane, quartiles, minimum, maximum).

Il s'agit de tracer un rectangle allant du premier quartile au troisième quartile et coupé par la médiane. Ce rectangle suffit pour le diagramme en boîte. On ajoute alors des segments aux extrémités menant jusqu'aux valeurs extrêmes (minimum et maximum).

II.2. Objectif de la boîte à moustaches

Représenter schématiquement une distribution statistique en intégrant des paramètres de tendance centrale et de dispersion, la lecture de ce type de graphique devient complète et les comparaisons entre plusieurs séries sont visuellement possibles.

II.3. L'étude des faciès chimique par la boîte à moustaches

La boîte à moustaches utilise 5 valeurs qui résument des données : le minimum, les 3 quartiles Q1, Q2 (médiane), Q3, et le maximum.

Les données dans notre cas comportent 7 variables la quantité en réaction de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ + K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , et NO_3^- et 28 observations (points d'eau).

II.3.1. Boîte à moustaches pour le faciès Chloruré sodique et potassique

D'après le tableau IV.1 et la figure IV.1, nous remarquons que les valeurs du milieu des boîtes de Ca^{2+} et de Mg^{2+} sont plus centrées et homogènes que les valeurs de Na^+ + K^+ qui sont dispersés et les valeurs du milieu de HCO_3^- , SO_4^{2-} et NO_3^- sont plus centrées et homogènes que pour le Cl^- qui sont dispersées et élevées.

L'écart interquartile est plus étalé pour le Na^+ + K^+ que pour le Ca^{2+} et le Mg^{2+} et la distribution est plus asymétrique, ainsi il est plus étalé pour le Cl^- que pour le reste des anions et la distribution est plus asymétrique.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

Donc on peut conclure qu'il y'a une homogénéité entre les chlorures et le sodium et le potassium, pour confirmer que notre faciès est chloruré sodique et potassique.

Tableau IV.1: Caractéristiques statistiques du faciès chloruré sodique et potassique

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}
1^{er} quartile	4,78	6,24	15,96	6,2	16,21	2,07	0,11
Minimum	1,5	2,98	7,53	2,92	4,95	1,13	0,08
Médiane	7,32	7,06	29,71	9,12	29,78	4,32	0,28
Maximum	25	24,77	181,14	14,97	201	18	3,03
3^{ème} quartile	13,03	12,49	42,98	10,03	49,46	6,06	0,62

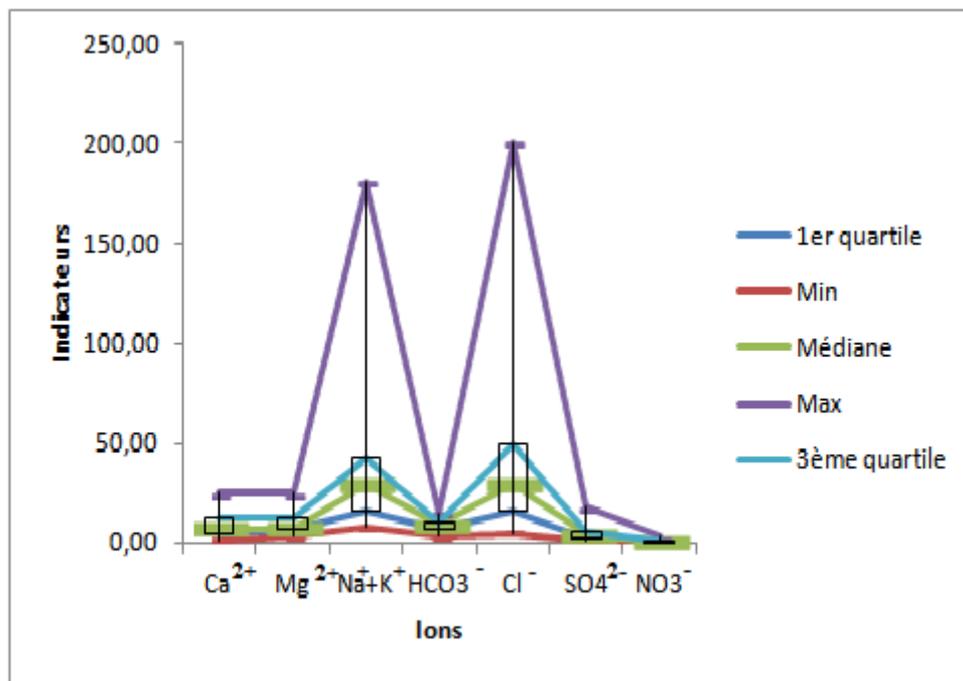


Figure IV.1 : Boîte à moustaches pour le faciès chloruré sodique et potassique.

II.3.2. Boîte à moustaches pour le faciès Bicarbonaté sodique et potassique

D'après le tableau IV.2 et la figure IV.2, on peut dire que les valeurs du milieu de Ca^{2+} , Mg^{2+} et $Na^{+}+K^{+}$ sont centrées et homogènes et que les valeurs de $Na^{+}+K^{+}$ sont élevées par rapport aux valeurs de Ca^{2+} et Mg^{2+} , et concernant les valeurs du milieu de HCO_3^{-} , SO_4^{2-} et NO_3^{-} sont plus centrées et homogènes que pour le Cl^{-} qui sont dispersées mais les valeurs des bicarbonates sont élevées par rapport aux autres.

L'écart interquartile est plus étalé pour le Ca^{2+} que pour le reste des cations et la distribution est symétrique pour les trois cations.

L'écart interquartile est plus étalé pour le Cl^{-} que pour le reste des anions et la distribution est plus asymétrique.

Donc on peut conclure qu'il y'a une homogénéité entre les bicarbonates et le sodium et le potassium (valeurs élevées), pour confirmer que notre faciès est bicarbonaté sodique et potassique.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

Tableau IV.2: Caractéristiques statistiques du faciès bicarbonaté sodique et potassique pour les cations et les anions.

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}
1^{er} quartile	1,55	2,65	7,5	5,72	3,94	0,65	0,33
Minimum	1	2,09	7,05	5,66	3,07	0,5	0,3
Médiane	2,1	3,2	7,95	5,77	4,8	0,8	0,35
Maximum	3,8	4,2	9,11	6	5,51	1,5	0,68
3^{ème} quartile	2,95	3,7	8,53	5,89	5,16	1,15	0,52

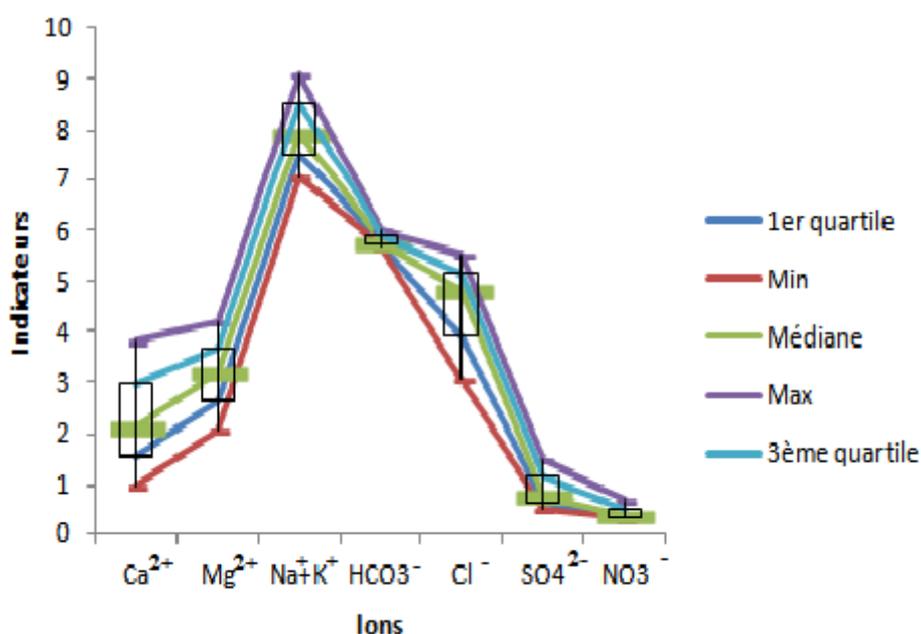


Figure IV.2 : Boîte à moustaches pour le faciès bicarbonaté sodique et potassique.

II.3.3. Boîte à moustaches pour le faciès sulfaté sodique et potassique

D'après le tableau IV.3 et la figure IV.3, nous remarquons que la boîte n'est pas nette car il s'agit d'un seul échantillon. Les valeurs du milieu de Ca^{2+} , Mg^{2+} , $Na^{+}+K^{+}$, HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} et NO_3^{-} sont centrées et homogènes et que les valeurs de $Na^{+}+K^{+}$ et les sulfates sont élevées par rapport aux autres valeurs.

La distribution est symétrique pour les cations et les anions.

On peut donc conclure qu'il y'a une homogénéité entre les sulfates et le sodium et le potassium (valeurs élevées), ce qui confirme que notre faciès est sulfaté sodique et potassique.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

Tableau IV.3: Caractéristiques statistiques du faciès sulfaté sodique et potassique pour les cations et les anions.

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}
1^{er} quartile	2,6	1,97	19,9	8,72	6,74	9,04	0,05
Min	2,6	1,97	19,9	8,72	6,74	9,04	0,05
Médiane	2,6	1,97	19,9	8,72	6,74	9,04	0,05
Max	2,6	1,97	19,9	8,72	6,74	9,04	0,05
3^{ème} quartile	2,6	1,97	19,9	8,72	6,74	9,04	0,05

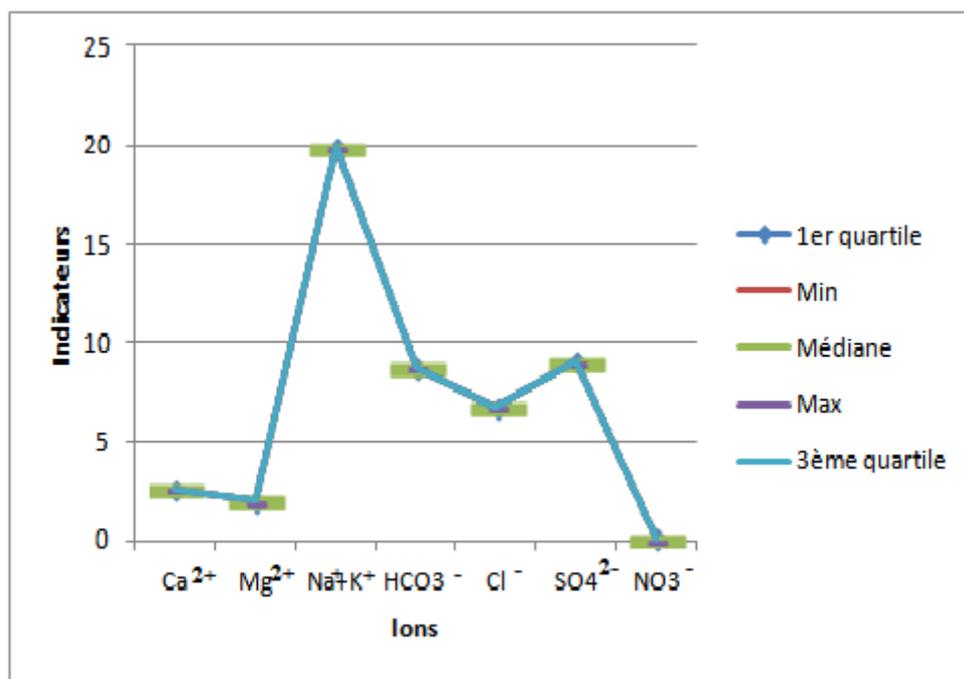


Figure IV.3: Boîte à moustaches pour le faciès sulfaté sodique et potassique.

II.3.4. Boîte à moustaches pour le faciès chloruré calcique

D'après le tableau IV.4 et la figure IV.4, on peut dire que les valeurs du milieu de $Na^{+}+K^{+}$ sont centrées et homogènes par rapport aux valeurs de Ca^{2+} , Mg^{2+} , aussi celles du calcium sont élevées par rapport à celles de Mg^{2+} et $Na^{+}+K^{+}$.

L'écart interquartile est plus étalé pour le calcium et le Magnésium que pour le sodium avec le potassium et la distribution est symétrique pour le Calcium et le Sodium avec le Potassium que pour le Magnésium.

Les valeurs du milieu de HCO_3^{-} , SO_4^{2-} et NO_3^{-} sont plus centrées et homogènes que les valeurs de Cl^{-} , nous remarquons une élévation des valeurs de chlorures par rapport aux autres anions.

L'écart interquartile est plus étalé pour les chlorures que pour les bicarbonates, les sulfates et les carbonates, et La distribution est dissymétrique pour les quatre anions.

Donc on peut dire qu'il y'a une homogénéité entre les chlorures et le calcium (valeurs élevées), confirmant ainsi que notre faciès est chloruré calcique.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

Tableau IV.4: Caractéristiques statistiques du faciès chloruré calcique pour les cations et les anions.

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}
1er quartile	6,6925	4,546	4,82	6,785	8,44	1,468	0,13
Min	5,8	3,99	4,14	5,82	6,46	1,25	0,03
Médiane	7,585	5,102	5,5	7,75	10,42	1,686	0,23
Max	10,6	9	7,548	7,885	11,65	2,29	1,13
3ème quartile	9,0925	7,051	6,524	7,8175	11,035	1,988	0,68

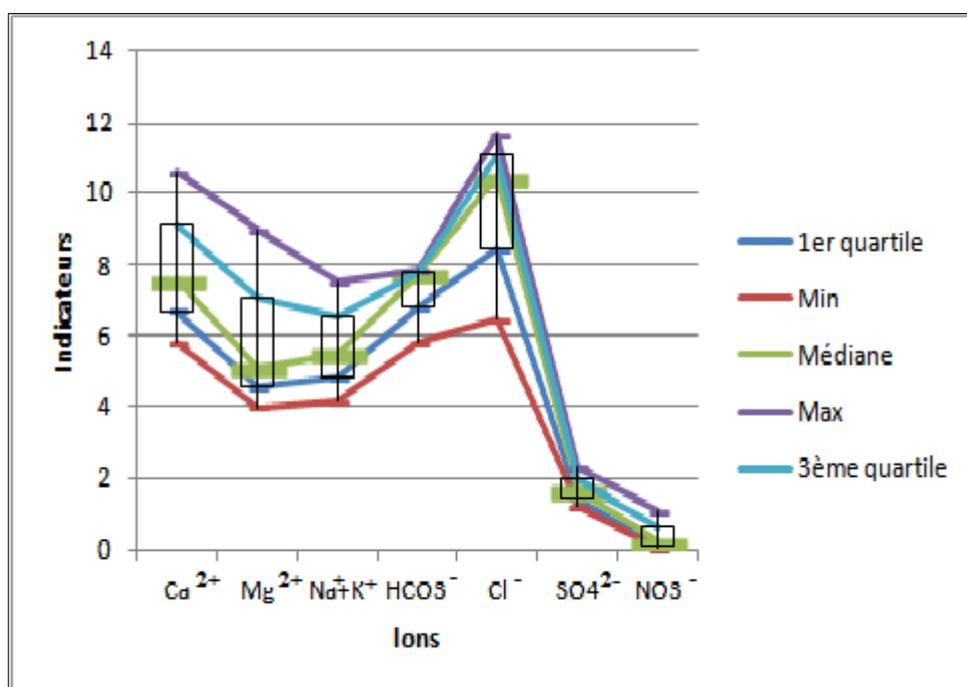


Figure IV.4: Boîte à moustaches pour le faciès chloruré calcique.

II.3.5. Boîte à moustaches pour le faciès chloruré Magnésien

L'examen du tableau IV.5 et la figure IV.5, montre un autre cas de mauvaise présentation car il s'agit là aussi d'un seul point. Les valeurs du milieu de Ca^{2+} , Mg^{2+} , $Na^{+}+K^{+}$, HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} et NO_3^{-} sont centrées et homogènes, mais il y'a une élévation des valeurs de Magnésium et chlorures par rapport aux autres valeurs.

La distribution est symétrique pour tous les ions.

Il y'a une homogénéité entre les chlorures et le Magnésium (valeurs élevées), ce qui confirme que notre faciès est chloruré Magnésien.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

Tableau IV.5: Caractéristiques statistiques du faciès chloruré Magnésien

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
1^{er} quartile	5,389	7,324	7,131	5,721	11,9	2,165	0,18
Minimum	5,389	7,324	7,131	5,721	11,9	2,165	0,18
Médiane	5,389	7,324	7,131	5,721	11,9	2,165	0,18
Maximum	5,389	7,324	7,131	5,721	11,9	2,165	0,18
3^{ème} quartile	5,389	7,324	7,131	5,721	11,9	2,165	0,18

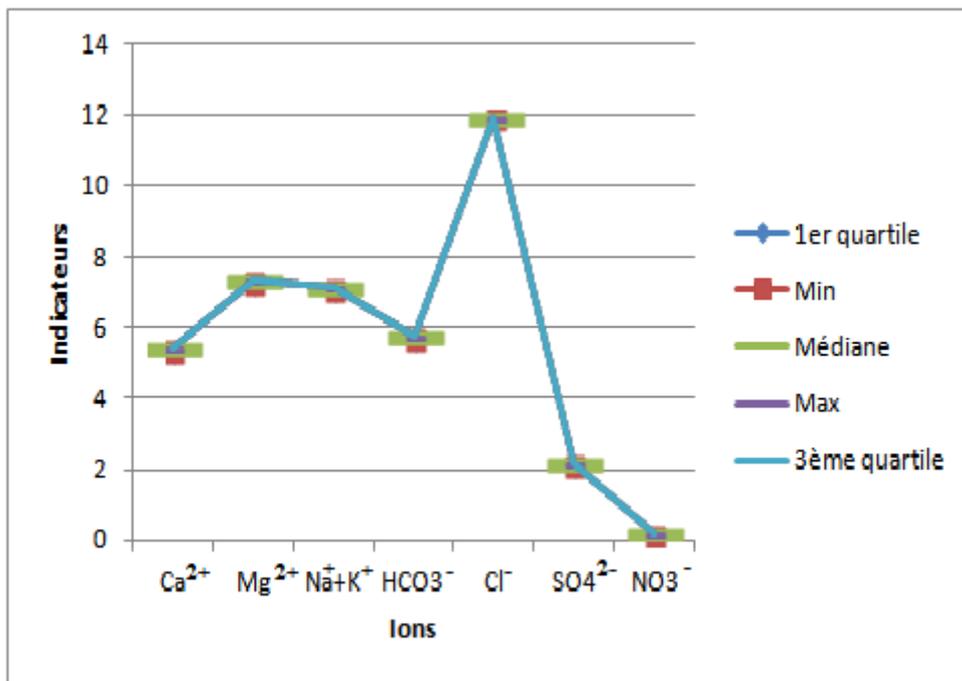


Figure IV. 5: Boîte à moustaches pour le faciès chloruré Magnésien.

II.3.6. Boîte à moustaches pour l'ensemble des échantillons du bassin versant d'Oued El Malah

L'analyse du tableau IV.6 et la figure IV.6, montrent que les valeurs du milieu de Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} et NO_3^- sont centrées et homogènes, par contre les valeurs de $Na^+ + K^+$ et Cl^- sont dispersés, nous remarquons une élévation des valeurs de chlorures et du sodium avec le potassium par rapport aux autres ions.

L'écart interquartile est plus étalé pour le chlorure et le sodium avec le potassium que pour les autres ions.

Donc comme résultat : d'après l'homogénéité entre les chlorures et le sodium avec le potassium (valeurs élevées), le faciès général de l'ensemble des points d'eau étudié sur la région d'Oued El Malah est chloruré sodique et potassique.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

Tableau IV.6: Caractéristiques statistiques de l'ensemble des échantillons du bassin versant d'Oued El Malah.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
1^{er} quartile	2,887	4,125	8,75	5,795	10,412	1,546	0,122
Minimum	1	1,48	4,01	2,918	3,07	0,5	0,03
Médiane	5,8	6,583	18,522	7,885	16,19	3,265	0,3
Maximum	25	24,77	182,92	14,97	201	18	3,03
3^{ème} quartile	10,1655	9,149	33,818	9,648	42,16	5,454	0,655

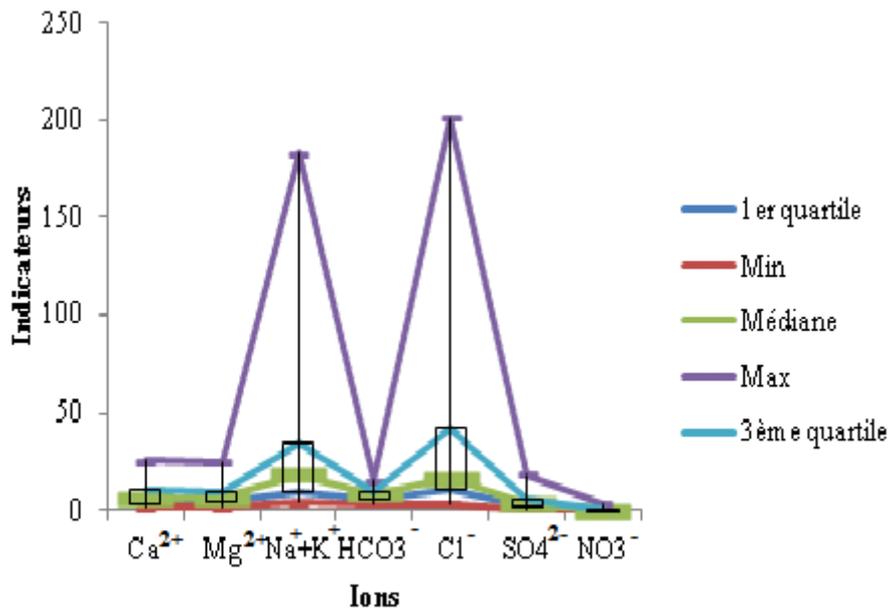


Figure IV.6: Boîte à moustaches pour l'ensemble des échantillons du bassin versant d'Oued El Malah.

III. L'analyse en composantes principales (A.C.P.)

La représentation graphique des éléments chimiques et l'étude des rapports caractéristiques ont montré qu'un grand nombre de paramètres chimiques et physicochimiques étaient significatifs, pris individuellement. Pour expliquer l'évolution du chimisme, la plupart du temps une (ou plusieurs) liaison plus ou moins forte existe entre ces paramètres. Il est donc apparu intéressant d'essayer de traiter les données statistiquement, en utilisant une méthode d'analyse multidimensionnelle comme l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

L'Analyse en Composantes Principales peut être considérée comme une méthode de projection qui permet de projeter les observations depuis l'espace à p dimensions des p variables vers un espace à k dimensions ($k < p$) tel qu'un maximum d'informations soit conservée (l'information est ici mesurée au travers de la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions. Si l'information associée aux 2 ou 3 premiers axes représente un pourcentage suffisant de la variabilité totale du nuage de points, on pourra représenter les observations sur un graphique à 2 ou 3 dimensions, facilitant ainsi grandement l'interprétation (Kaouani A. et al., 2007).

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

III.1. Principe de l'ACP

L'ACP permet de synthétiser l'information contenue dans un tableau de données. Elle permet d'identifier une éventuelle similarité entre les individus et de déterminer la liaison entre les variables.

III.2. L'objectif de l'ACP

- Réduction du nombre des variables à un nombre plus petit de variables « représentatives » et « non corrélées ».
- Classification des variables et individus.

III.3. Application et résultat

Une analyse en composantes principales a été réalisée en utilisant les données hydro-chimiques des eaux des sources, des puits, et ainsi des eaux d'Oued (29 points d'eau utilisés) à l'aide du Logiciel XL.stat (version 2016). Les variables sont au nombre de 8 et sont : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-). Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro-chimiques.

L'approche est basée sur l'établissement de corrélation entre l'ensemble de ces variables à partir d'une analyse statistique. L'A.C.P est en fait utilisé pour les études englobant plusieurs paramètres dont les interprétations sont déterminantes pour la compréhension de certains phénomènes. Cette méthode permet de mettre en évidence les liens éventuels que présenteraient ces variables au cours de leur évolution. (Théophile et al, 2012).

III.3.1. Matrice de corrélation

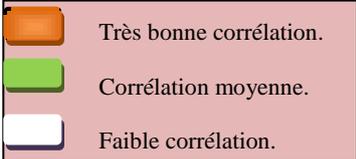
D'après les coefficients de corrélation ($r > 0,8$) (tableau. IV.7), nous remarquons que les eaux

présentent les caractéristiques suivantes :

- Le Cl^- est fortement corrélé au Na^+ .
- Le Mg^{2+} , Na^+ , et le Cl^- sont moyennement corrélé au Ca^{2+} .
- Le SO_4^{2-} est moyennement corrélé au Na^+ et Cl^- .

Tableau IV.7: Matrice de corrélation des paramètres chimiques des eaux de bassin versant d'El Malah.

Variables	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
Ca^{2+}	1							
Mg^{2+}	0,692	1						
Na^+	0,679	0,375	1					
K^+	-0,012	0,017	0,419	1				
HCO_3^-	0,336	0,058	0,26	0,079	1			
Cl^-	0,799	0,534	0,974	0,332	0,242	1		
SO_4^{2-}	0,532	0,518	0,709	0,242	-0,062	0,69	1	
NO_3^-	0,248	0,384	0,023	-0,073	-0,32	0,098	0,261	1



Très bonne corrélation.

Corrélation moyenne.

Faible corrélation.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

D'abord elle consiste à sélectionner le nombre d'axes factoriels que l'on souhaite conserver. A cet effet il y a quelques règles :

- Règle de Kaiser en A.C.P normée: on ne s'intéresse qu'aux axes avec une valeur propre supérieure à 1 (= inertie d'une variable initiale).
- **Règle de l'inertie minimale** : On sélectionne les premiers axes afin d'atteindre un % donné d'inertie expliquée (70% par exemple).
- **Règle du coude** : On observe souvent de fortes valeurs propres au départ puis ensuite de faibles valeurs avec un décrochage dans le diagramme. On retient les axes avant le décrochage.

Le tableau des valeurs propres (tableau IV.8) qui donne le pourcentage exprimé par chaque facteur, permet de connaître le nombre de facteurs nécessaires pour l'interprétation de ces phénomènes à partir du pourcentage cumulé de ces différents facteurs.

Tableau IV.8 : Valeurs propres des axes et leurs contributions

Facteur	Valeurs propres	Variabilité (%)	Cumulé %
F1	3,816	47,697	47,697
F2	1,549	19,364	67,060
F3	1,143	14,284	81,344

Le calcul a été arrêté à trois axes, à savoir les axes F1, F2 et F3. Ainsi, le facteur **F1** exprime **47,70%** de la variance, le facteur **F2 : 19,36 %**, et le facteur **F3 :14,28 %**. Ces trois facteurs expriment donc **81,34 %** de la variance totale. Donc nous sélectionnons les 3 premières valeurs propres, qui expliquent ensemble plus de **81 %** de l'inertie totale du nuage de points.

La figure IV.7 présente une courbe décroissante du pourcentage de l'ensemble des facteurs, c'est une représentation graphique qui permet aussi de déceler le nombre de facteurs nécessaires pour mieux visualiser les résultats:

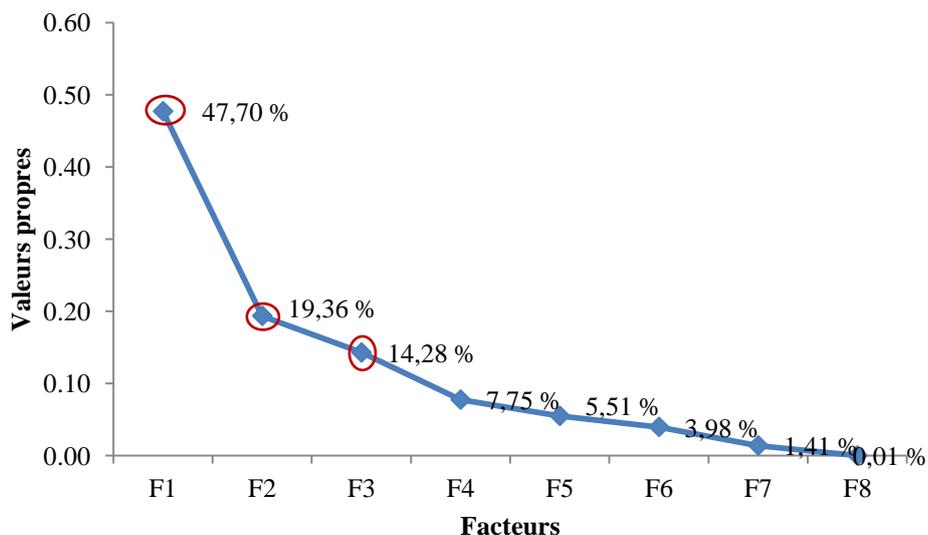


Figure IV.7 : Valeurs propres de la matrice de corrélation.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

III.3.2. Analyse des graphiques

III.3.2.1. Espace des variables

L'analyse des variables (tableau IV.9) montre que :

- Le facteur 1 exprimant 47,70 % de l'inertie totale, est fortement corrélé avec les variables : Sodium, et Chlorures et bien corrélé avec le Calcium, et présente une corrélation moyenne avec le Magnésium et les Sulfates. C'est le pôle des minéralisations, il est en bonne partie issu de l'interaction eau-roche.
- Le facteur 2 exprimant 19,36 % de l'inertie totale du nuage, est caractérisé par les Nitrates.
- Le facteur 3 n'exprimant que 14,28 %, est moyennement corrélé avec le Potassium.

Tableau IV.9 : Corrélations entre les variables et les axes.

Variables	F1	F2	F3
Ca ²⁺	0,861	0,080	-0,395
Mg ²⁺	0,701	0,404	-0,251
Na ⁺	0,903	-0,275	0,169
K ⁺	0,316	-0,419	0,707
HCO ₃ ⁻	0,245	-0,656	-0,561
Cl ⁻	0,953	-0,158	0,046
SO ₄ ²⁻	0,798	0,176	0,268
NO ₃ ⁻	0,250	0,801	0,083

La projection des variables sur le plan factoriel F1-F2 (fig.IV.8), montre que l'axe F1 est déterminé par, Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺ qui forme une première association, puis SO₄²⁻, Mg²⁺.

Le facteur F2 vertical est déterminé d'une manière positive et unitaire par le NO₃⁻, formant la deuxième association.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

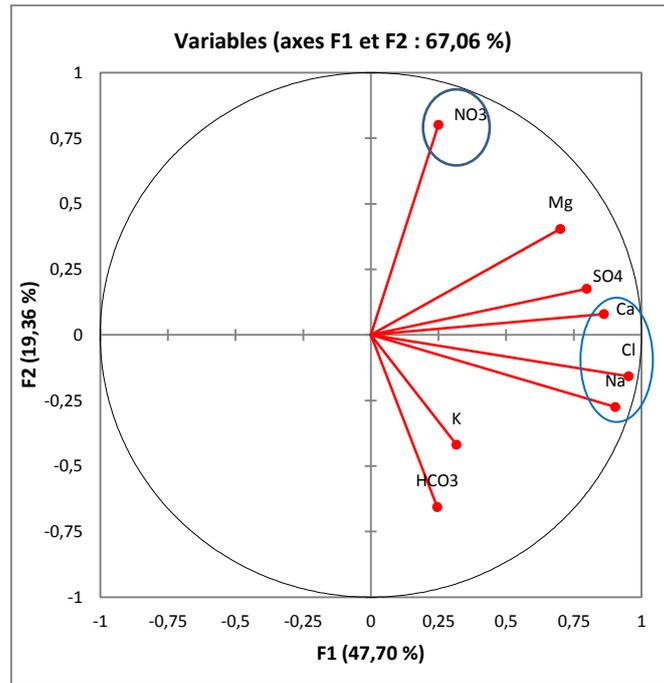


Figure IV.8: Projection des variables dans le plan factoriel F1-F2 des eaux du bassin versant d'Oued El Malah.

Sur le plan factoriel F1-F3 (fig. IV.9), la projection des variables montre que l'axe F1 est déterminé par l'association formée par Na^+ et Cl^- .

Le facteur F3 vertical est déterminé d'une manière unitaire et positive par le potassium K^+ .

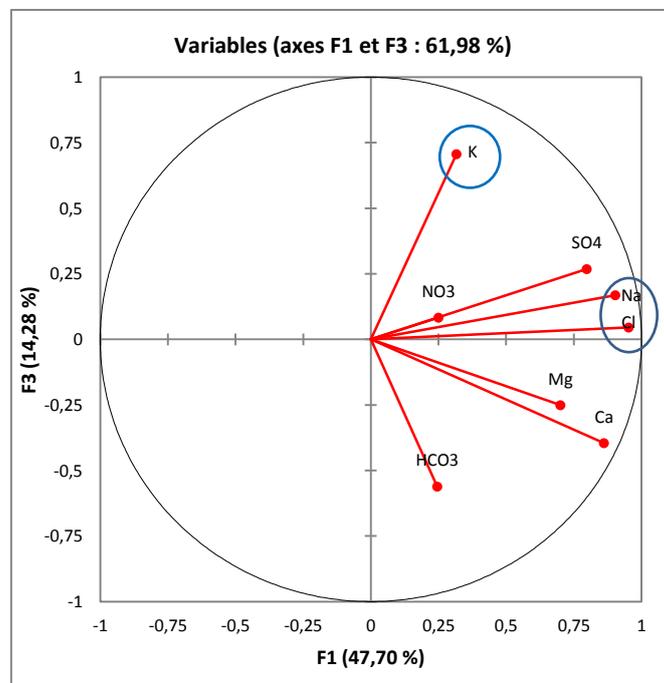


Figure IV.9: Projection des variables dans le plan factoriel F1-F3 des eaux du bassin versant d'Oued El Malah.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

III.3.2.2. Espaces des individus

Les individus se répartissent en fonction de leurs affinités dans les domaines définis par l'espace des variables.

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1-F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en trois groupes (fig. IV.10).

- **Groupe 1** : rassemble les points d'eau 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 et 29. Ce sont les points d'eau caractérisés avec des teneurs élevées en Na^+ , Cl^- et en HCO_3^- . Ces teneurs proviennent probablement des lessivages des formations carbonatées, ces ions sont responsables de la minéralisation.
- **Groupe 2** : rassemble les points d'eau 13 et 19. Il regroupe les points d'eau qui se caractérisent par la dominance du Magnésium, qui provient probablement de la dissolution des roches carbonatées et des minéraux magnésiens et l'échange cationique.
- **Groupe 3** : renferme un seul point d'eau (3), ce point s'écarte clairement et se caractérise par une très forte concentration en chlorures et sodium, ces concentrations sont le résultat de l'interaction eau-roche montrant ainsi que chlorures et le sodium ont une origine commune.

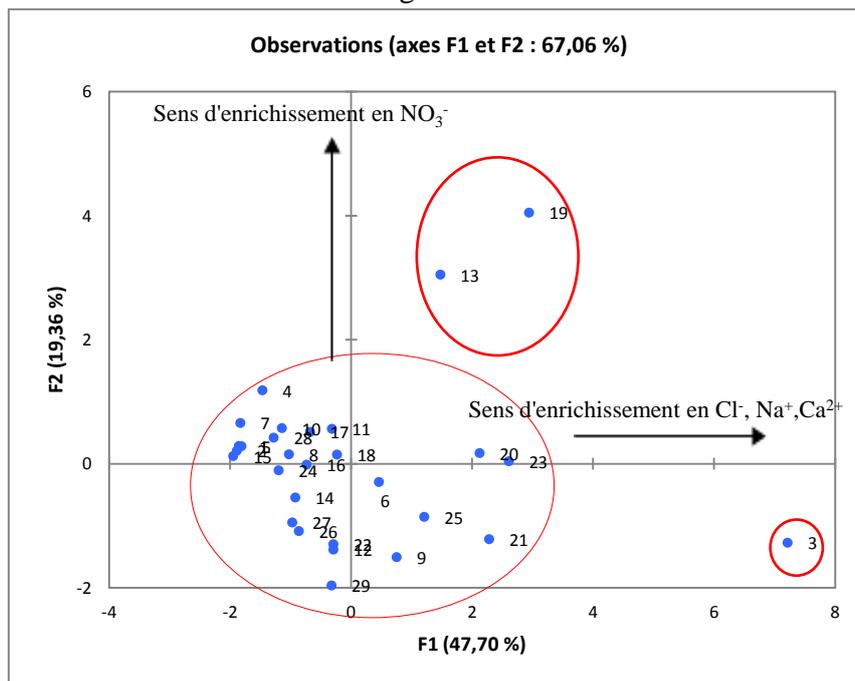


Figure IV.10 : Projection (individus) des points d'eau sur le premier plan factoriel (F1 – F2).

La deuxième analyse de la projection des individus faite sur le plan factoriel F1-F3 montre une grande similitude avec la première (fig.IV.11). En effet:

- Groupe 1 : rassemble 13, 19, 20, 21, 23, 25. Sont des points d'eau caractérisés par une concentration importante des ions Chlorures, Magnésium, Sodium.
- Groupe 2 : rassemble les points d'eau 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 22, 24, 26, 27, 28 et 29. Sont des points d'eau moyennement chargés.

Le point 3 est très fortement chargé en chlorures du à l'interaction eau-roche.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

Le point 9 décalé vers le haut et attiré par le pôle K^+ , ce point est riche en Potassium K^+ , cet ion est rencontré dans les roches ignées et les Argiles.

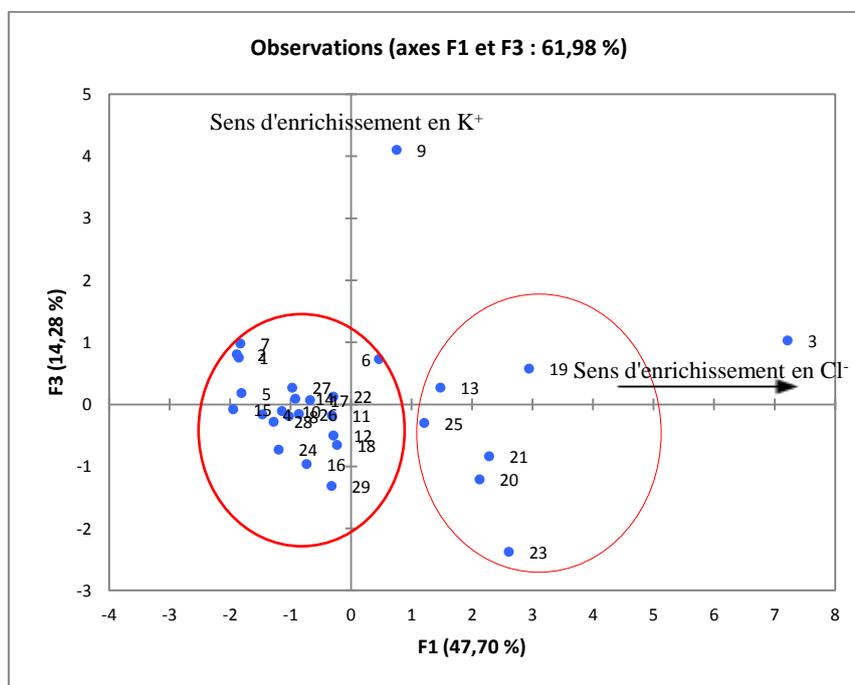


Figure IV.11 : Projection des points d'eau sur le plan factoriel F1 – F3.

L'analyse en composantes principales, portée sur les matrices, les facteurs, et les cercles de corrélation, a confirmé le mode de minéralisation des eaux du bassin versant d'Oued El Malah car :

- Certains points d'eau sont caractérisés par de très fortes teneurs en Cl^- , Na^+ , K^+ , indiquent la présence d'une interaction eau-roche.

- D'autres points présentent des valeurs élevées en HCO_3^- et SO_4^{2-} , ces éléments proviennent probablement de la dissolution des formations carbonatées et aussi du lessivage des formations gypsifères.

Le reste des points d'eau est moyennement minéralisé avec une dominance des teneurs chlorurées, confirmant le faciès chimique des eaux.

IV. Classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)

Il s'agit de regrouper itérativement les individus, en commençant par le bas (les deux individus les plus proches) et en construisant progressivement un arbre ou un Dendrogramme, regroupant ainsi tous les individus en une seule classe, à la racine. On parle de classification hiérarchique car chaque classe d'une partition donnée est incluse dans une classe de la partition suivante. Ceci suppose savoir calculer, à chaque étape ou regroupement, la distance entre un individu et un groupe ou la distance entre deux groupes. Cette distance appelée la distance euclidienne qui sert à faire le lien avec les méthodes d'analyse factorielle qui fournissent des représentations aussi euclidiennes (Bourouche et al., 1980). Le résultat de classification est présenté sous forme graphique appelé Dendrogramme.

IV.1. Principe de la classification ascendante hiérarchique

1. On commence par calculer la dissimilarité entre les N objets.
2. Puis on regroupe les deux objets dont le regroupement minimise un critère d'agrégation donné, créant ainsi une classe comprenant ces deux objets.
3. On calcule ensuite la dissimilarité entre cette classe et les N-2 autres objets en utilisant le critère d'agrégation. Puis on regroupe les deux objets ou classes d'objets dont le regroupement minimise le critère d'agrégation. On continue ainsi jusqu'à ce que tous les objets soient regroupés.

IV.2. Objectif de la classification ascendante hiérarchique

La production d'une structure arborescence permettant :

- La mise en évidence des liens hiérarchiques entre individus et groupes d'individus.
- La détection d'un nombre de classes naturel au sein de la population.

IV.3. Différentes mesures de ressemblance entre groupe d'individus

VI.3.1. Saut minimum ou lien simple

La distance minimum entre deux groupes est égale à la plus petite distance entre un élément de premier groupe et un élément de second groupe. (Laurent.C , 2006)

IV.3.2. Lien complet

C'est la distance maximum entre deux groupes et est égale à la plus grande distance entre un élément de premier groupe et un individu de deuxième groupe.(Laurent.C , 2006)

IV.3.3. Critère de Ward

C'est la plus courante. Elle consiste à réunir les deux groupes dont le regroupement fera le moins baisser l'inertie interclasse.

Il existe plusieurs mesures de ressemblance entre individus et plusieurs mesures de ressemblance entre groupe d'individus. (Laurent.C , 2006)

IV.4. Le choix de mesure de ressemblance

Avec la méthode de Ward, on agrège a chaque itération les classes dont l'agrégation fait perdre le moins d'inertie interclasse il s'agit donc d'une optimisation pas-a-pas, qui ne dépend pas d'un choix initial arbitraire, mais la méthode du lien simple occasionne des problèmes de chaînage au contraire la méthode de lien complet ne présente pas ce problème. Il tend, à former des groupes de taille égale. (Laurent.C , 2006)

C'est pour ca nous avons choisie la méthode du lien complet et la méthode de Ward pour notre étude.

IV.5. Qualité d'une partition

Pour une bonne qualité de partition il faut que :

- Les individus d'une même classe sont proches c'est-à-dire que la variabilité intra-classes petite donc à l'intérieur d'une classe il y'a très peu de variabilité, les individus se ressemblent.
- Les individus de deux classes différentes sont éloignés c'est-à-dire d'une classe à l'autre il y'a une grande variabilité donc une variabilité inter-classes grande. (Chessel.D et al,2004)

IV.6. Représentation des résultats

IV.6.1. Méthode de Ward

IV.6.1.1. Dendrogramme

Représentation graphique sous forme d'arbre binaire, d'agréations successives jusqu'à réunion en une seule classe de tous les individus. La hauteur d'une branche est proportionnelle à la distance entre les deux objets regroupés.

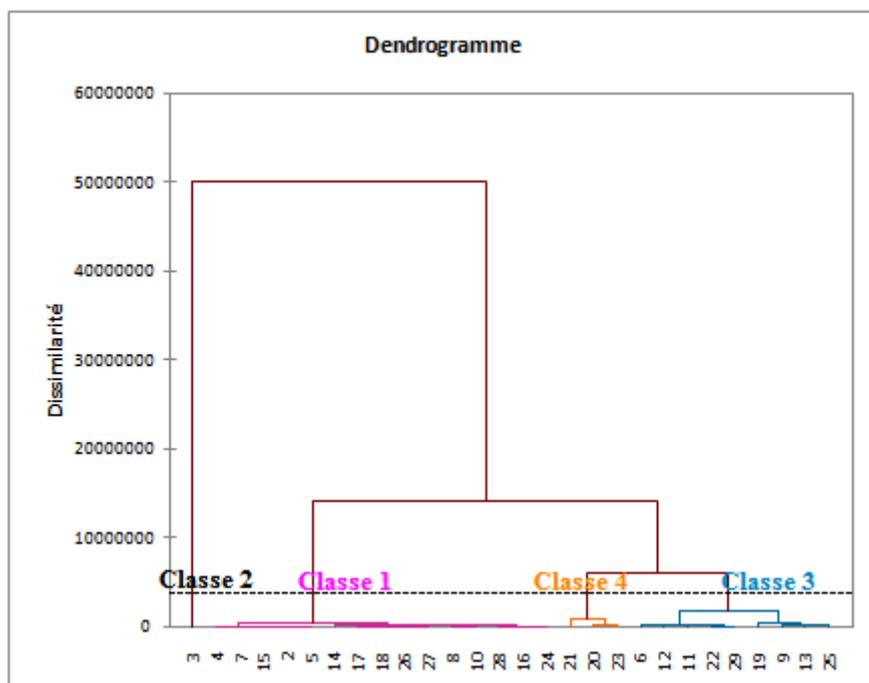


Figure IV.12 : Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des points d'eau par la méthode de Ward.

La figure IV.12 présente une classification ascendante hiérarchique selon le critère de Ward. Cette classification nous permet d'identifier quatre classes dépendantes de la concentration de l'anion dominant.

La classe 1 : correspond aux points d'eau dont la concentration massique de l'anion dominant (dans ce cas les chlorures et les bicarbonates) appartient à l'intervalle $200 \text{ mg/L} \leq \text{Anion} \leq 700 \text{ mg/L}$.

La classe 2 : englobe un seul point d'eau numéro 3 « El Malah » caractérisé par une concentration massique trop élevée en chlorures qui atteignent les 7132 mg/L.

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

La classe 3 : l'intervalle de la concentration massique de l'anion dominant est entre 700 mg/L < Anion < 1800 mg/L.

La classe 4 : la concentration massique de l'anion dominant varie de 2000 mg/L < Anion < 4000 mg/L.

IV.6.1.2. Décomposition de la variance pour la classification optimale

Pour vérifier la qualité d'une partition nous examinons le ratio inertie inter/ inertie totale, ce ratio varie entre 0 et 1, et plus il est proche de 1 plus la partition est meilleure. Dans notre cas le ratio égal à 0,92 indique une meilleure partition (tableau IV.10).

Tableau IV.10 : Décomposition de la variance pour la classification optimale
par la méthode de Ward.

	Absolu	Pourcentage
Inertie Inter-classes	2581468,241	92,82%
Inertie Totale	2781162,969	100,00%

IV.6.1.3. Résultat par objet

Tableau IV.11 : Classification des points d'eau par classes et les caractéristiques correspondantes.

Classes	1	2	3	4
Points d'eau	2 : AT3 bis 4 : Aboullil I 5 : Sidi Mohammed 7 : Barrette 8 : Sidi Hadou 10 : Bailiche oules Taoui 14 : Ain Kihel V bis 15 : Sidi Boudia 16 : Source Berkeche 17 : Aghlal 18 : O.Aghlal 24 : Puits 26 : RN2 _{RG} 27 : O.Sennan 28 : Taoui	3 : El Malah	6 : ITAF Bis 9 : Faid El kitane 11 : Kéroulis 12 : Hammam Bouhdjar 13 : Chentouf02 19 : O.Berkeche 22 : Ham 25 : RN2 _{RD} 29 : O.Taoui	20 : Bouhadjar 21 : Exutoire 23 : O.Metguer
Caractérisation	Concentration d'anion dominant faible.	Concentration d'anion dominant trop élevée.	Concentration d'anion dominant moyenne.	Concentration d'anion dominant élevée.

IV.6.2. Méthodes du lien complet

IV.6.2.1. Dendrogramme

La classification ascendante hiérarchique par la méthode du lien complet permet de visualiser six classes, ces classes sont partitionnées selon la dégradation de concentration d'anion dominant : les classes 1 et 2 sont la même que celle de la méthode de Ward, la première caractérisée par une concentration d'anion dominant faible (de 200mg/L jusqu'à 700mg/L), et la deuxième caractérisée par un taux assez élevé de chlorures, pour la troisième classe la concentration varie de 716 mg/L à 1169 mg/L, ensuite la quatrième classe contient quatre individus dont la concentration d'anion dominant appartient à l'intervalle 1604 mg/L-1755 mg/L, la classe 5 dont les concentrations de l'anion dominant des points d'eau varie de 2313 mg/L à 2722 mg/L, et la dernière classe est marquée par une concentration en chlorures atteignant les 3344 mg/L.

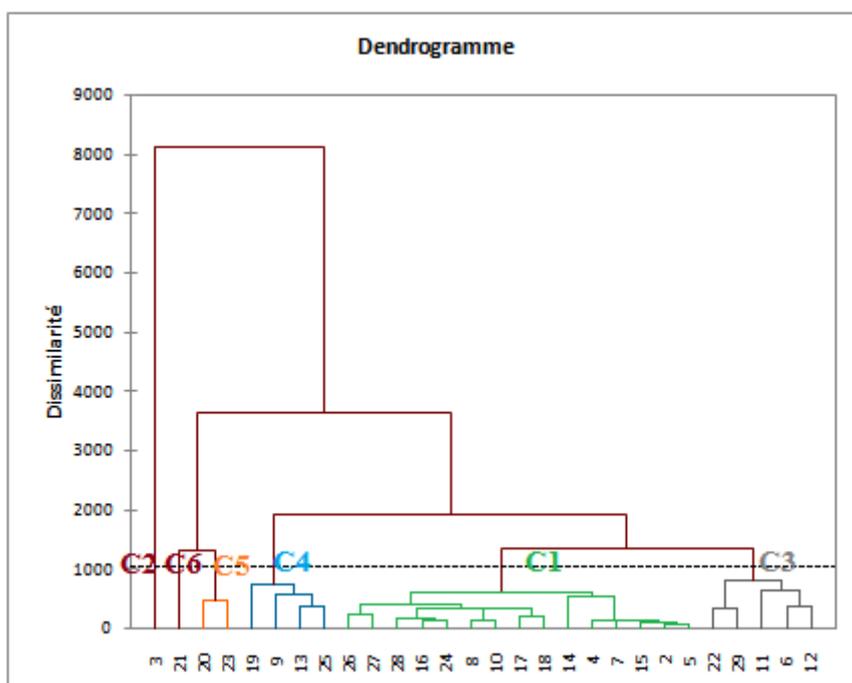


Figure IV.13: Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des points d'eau par la méthode du lien complet.

IV.6.2.2. Décomposition de la variance pour la classification optimale

Dans cette méthode la qualité d'une partition par le ratio inertie inter / inertie totale représente 0,96 ce qui indique une bonne partition (tableau IV.12).

Tableau IV.12 : Décomposition de la variance pour la classification optimale par la méthode de lien complet.

	Absolu	Pourcentage
Inertie Inter-classes	2681085,845	96,40%
Inertie Totale	2781162,969	100,00%

CHAPITRE IV : APPLICATION DES TESTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

IV.6.2.3. Résultat par objet

Tableau IV.13 : Classification des points d'eau par classes et les caractéristiques correspondants.

Classes	1	2	3	4	5	6
Points d'eau	2 : AT3 bis 4 : Aboullil I 5 : Sidi Mohammed 7 : Barrette 8 : Sidi Hadou 10 : Bailiche oules Taoui 14 : Ain Kihel V bis 15 : Sidi Boudia 16 : Source Berkeche 17 : Aghlal 18 : O.Aghlal 24 : Puits 26 : RN _{2RG} 27 : O.Sennan 28 : Taoui	3 : El Malah	6 : ITAF Bis 11 : Kéroulis 12 : Hammam Bouhdjar 22 : Ham 29 : O.Taoui	9 : Faid El kitane 13 : Chentouf02 19 : O.Berkeche 25 : RN _{2RD}	20 : Bouhadjar 23 : O.Metguer	21 : Exutoire
Caractérisation	Concentration variant entre 200 et 700 mg/L	Concentration d'anion assez élevée atteignant les 7132 mg/L	Concentration variant entre 716 mg/L et 1169mg/L	Concentration variant entre 1604mg/L et 1755 mg/L	Concentration variant entre 2313 mg/L et 2722 mg/L	Concentration atteignant les 3344 mg/L

Donc on peut conclure que le ratio inertie inter classes / inertie totale calculé pour la méthode du lien complet présente un meilleur pourcentage par rapport à la méthode de Ward d'où une meilleure partition pour le lien complet.

V. Conclusion

L'application des tests statistiques en hydrochimie tels que la boîte à moustaches, l'analyse en composantes principales, et la classification ascendante hiérarchique montre une grande importance.

La boîte à moustaches est un diagramme qui est permis la confirmation du faciès des eaux. L'analyse en composantes principales nous a aidé à diviser les points d'eau en groupes ayant les mêmes caractéristiques (taux de la minéralisation). Quant à la classification ascendante hiérarchique, elle nous a aussi aidé à mieux comprendre les interactions eau-roche.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude étant d'étudier l'application de quelques traitements statistiques aux données hydro-chimiques du bassin versant d'Oued El Malah qui est situé dans la partie Nord-Ouest du territoire national, Il convient de procéder à un récapitulatif des principaux résultats obtenus :

- Le bassin versant d'Oued El Malah s'étend sur une superficie de 873,45 km², et un périmètre de 138,32 km, est caractérisé par un climat semi-aride avec une température moyenne annuelle de 18,04°C et des précipitations moyennes annuelles de 449,2 mm durant la période 1979/1980-2013/2014, ce climat présente deux périodes :
 - ✓ Une période humide : s'étend du début Septembre jusqu'à la fin du mois d'Avril.
 - ✓ Une période sèche : correspond à la saison d'été (Juin, Juillet, Aout).
- La région d'Aïn Temouchent appartient au domaine tellien, caractérisé par une succession de nappes de charriages. Après la mise en place des nappes, une alternance de transgressions et régressions marines devait donner une succession de dépôts marins et continentaux. Ces dépôts sont couronnés du Miocène post- nappe au Quaternaire.
- Concernant l'étude hydrogéologique, d'après la carte piézométrique, nous constatons que les lignes de courant indiquent un drainage vers le Nord-Ouest, les dépressions sont le résultat d'exploitation de la nappe.
- L'étude hydrochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité physico-chimique des eaux. En effet, les analyses physico-chimiques des eaux révèlent que celles-ci se classent en cinq famille de faciès, prédominées par les eaux chlorurées sodiques et potassiques, suivi de celui des eaux chlorurées calciques et Bicarbonatées sodiques et potassiques, et un seul point d'eau se range dans le faciès sulfaté sodique et potassique (Ain Kihel V Bis), pareil pour l'eau de faciès chloruré magnésien (Taoui).
- L'aptitude des eaux à l'irrigation présente quatre classes : bonne, admissible, médiocre et mauvaise à l'irrigation par endroit.
- L'étude statistique par les modes d'interprétation (boite à moustaches, A.C.P, C.A.H) permet de mettre en évidence les liens entre les éléments chimiques et facilite leur interprétation.
 - La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique et les minéraux qu'elles contiennent dans l'eau. ainsi que l'hétérogénéité de la lithologie, En effet, nous pouvons citer le faciès chloruré magnésien, calcique, à sodique caractérisant les eaux provenant des formations du remplissage mio-plio-quaternaire, le faciès sulfaté sodique résultant des formations évaporitiques.

RECOMMENDATION

RECOMMANDATION

Pour protéger cette ressource en eau contre la pollution, il est recommandé d'établir une carte de vulnérabilité à la pollution du secteur d'étude et limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques.

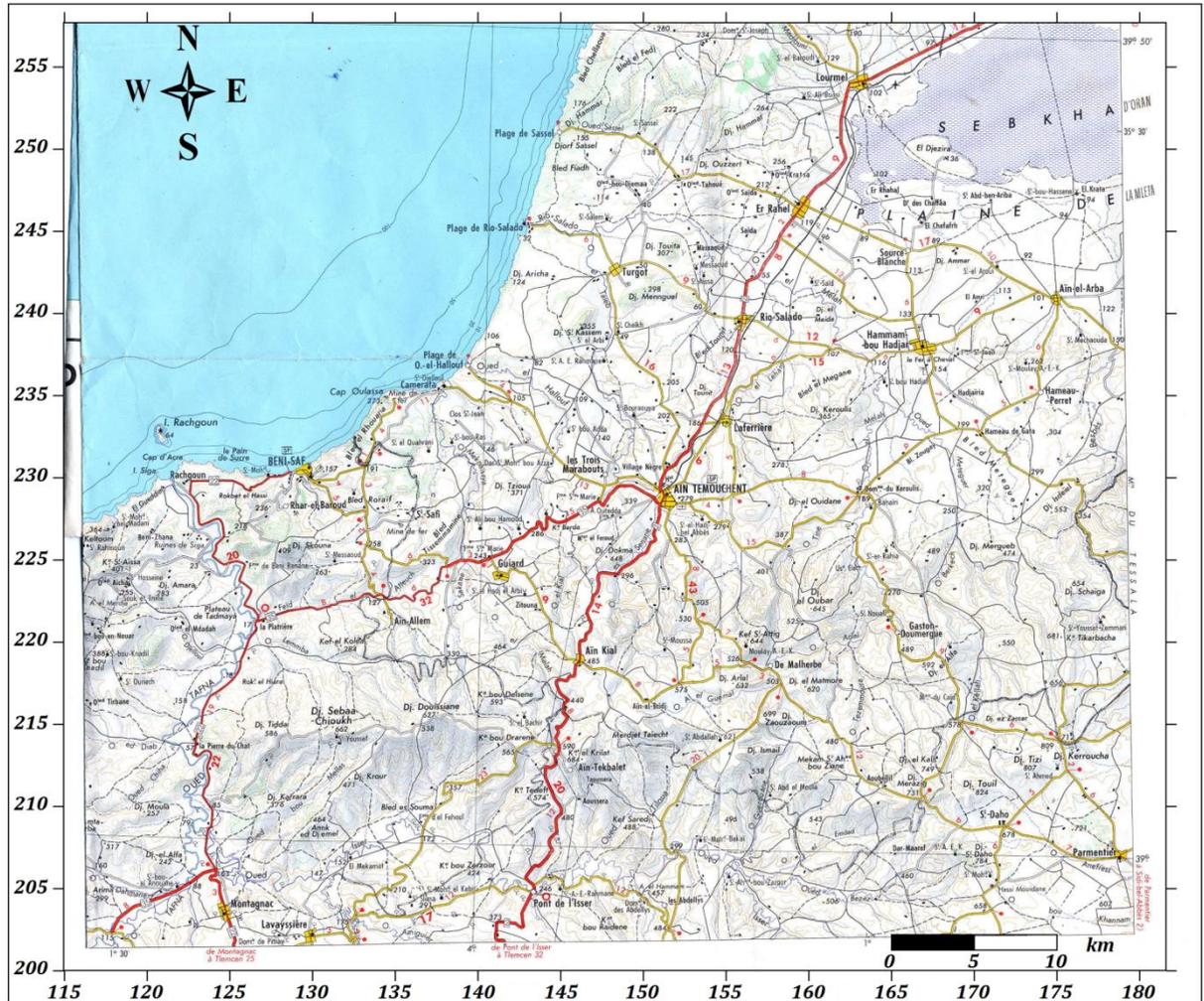
L'installation des stations d'épuration pour pouvoir récupérer les eaux des Oueds de qualité mauvaise et médiocre pour l'irrigation.

Il est nécessaire de réaliser des retenues collinaires à travers le bassin versant d'Oued El Malah (Projet en cours par l'Hydro Projet Ouest d'Oran) de façon à ce qu'une partie des eaux des retenues soit utilisée pour l'irrigation.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe I : carte topographique (partie d'Ain Temouchent).



ANNEXES

Annexe II : Résultats des analyses physico-chimiques de différents points d'eau au bassin d'Oued El Malah (A.N.R.H d'Oran,A.D.E d'Aïn Temouchent).

Point d'eau	Coordonnées Lambert		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁺		Σ Cations (méq/l)	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻		Σ Anions (méq/l)
	X (Km)	Y (Km)	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l		mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	
AT3 (1 ^{ère} analyse)	151,3	227,5	20	1	39	3,2	196	8,5	24	0,61	13,31	345	5,66	196	5,51	24	0,5	42	0,68	0	0	12,35
AT3 (2 ^{ème} analyse)	151,3	227,5	20	1	33	2,74	196	8,5	25	0,64	12,88	344	5,64	196	5,51	24	0,5	40	0,64	0	0	12,29
El Malah II	154,7	240,9	501	25	140	11,5	4140	180	44	1,14	217,64	523	8,57	7132	201	864	18	26	0,41	0	0	227,88
Aoubellil I	165,4	213,7	116	5,8	49	3,99	124	5,4	4	0,1	15,29	355	5,82	229	6,46	60	1,25	70	1,13	0	0	14,66
Sidi Mohammed	150,25	221,25	42	2,1	51	4,2	156	6,8	10	0,25	13,35	352	5,77	170	4,8	72	1,5	22	0,35	0	0	12,42
ITAF Bis	151,2	233,05	100	5	68	5,62	943	41	38	0,97	52,59	588	9,64	1169	32,92	374	7,8	60	0,96	0	0	51,32
Barrette	151,3	226,05	30	1,5	36	2,98	161	7	21	0,53	12,01	259	4,24	176	4,95	84	1,75	42	0,67	0	0	11,61
Sidi Haddou	143,18	229,25	130	6,5	78	6,38	278	12,1	13	0,33	25,31	403	6,6	562	15,84	97	2,02	19	0,3	0	0	24,76
Faid El Kitane	150,8	224,95	58	2,88	85	7,02	1162	50,5	114	2,92	63,32	271	4,44	1755	49,45	295	6,14	6	0,09	0	0	60,12
Bailiche <small>Ouled Taoui</small>	154,15	241,75	130	6,48	86	7,09	219	9,5	6	0,15	23,22	293	4,8	637	17,94	100	2,08	13	0,2	0	0	25,02
Kéroulis	159,2	236,3	82,16	4,1	176,17	14,5	425	18,47	12	0,3	37,37	361	5,91	995	28,06	180	3,74	7,3	0,12	0	0	37,82
H.B	165,4	239,8	140	7	77	6,35	759	33	30	0,76	47,11	674	11,04	1118	31,5	54	1,13	9	0,14	0	0	43,81
Chentouf 02	161,75	230,1	278	13,87	151,3	12,45	736	32	28,7	0,73	59,05	384	6,29	1606	45,3	220	4,58	188	3,03	0	0	59,2
Ain Kihel V Bis	148,4	217,85	52	2,6	24	1,97	453	19,7	8	0,2	24,47	532	8,72	239	6,74	434	9,04	3	0,05	0	0	24,55
S.M+Sidi Boudia	/	/	76,15	3,8	25,4	2,09	180	7,82	5	0,13	13,84	366	6	109	3,07	38	0,8	18,5	0,3	0	0	10,17
Source Berkeche	165	221,136	212,4	10,6	109,35	9	90,1	3,91	9,3	0,23	23,74	473,3	7,75	369,6	10,42	110	2,29	1,8	0,03	0	0	20,49
Aghlal	156,85	218,863	183	9,13	49,21	4,05	272	11,82	14	0,36	25,36	384,3	6,3	440,2	12,41	246,93	5,14	38,3	0,61	0	0	24,46
Chabaat El Leham	154,72	233,509	36	1,8	109,4	9	/	/	/	/	/	536,8	8,8	430	12,13	210	4,37	87,6	1,41	0	0	26,71
Ben Douma	146	217	26	1,3	18	1,48	/	/	/	/	/	639,3	10,48	/	/	/	/	/	/	0	0	/

ANNEXES

<i>O. Aghlal</i>	164,4	221,7	195	9,731	83	6,83	306	13,31	12	0,307	30,18	549	9	573	16,16	267	5,559	36	0,58	0	0	31,3
<i>O. Berkeche</i>	164,8	221,8	257	12,82	301	24,77	722	31,41	15	0,384	69,38	178	2,918	1755	49,5	768	15,99	126	2,03	0	0	70,44
<i>Bouhadjar</i>	163,7	236,7	332	16,57	207	17,03	1001	43,54	20	0,512	77,65	598	9,803	2313	65,24	290	6,038	33	0,53	0	0	81,61
<i>Exutoire</i>	143,1	245,3	255	12,72	153	12,59	1806	78,56	26	0,665	104,5	695	11,39	3344	94,32	208	4,331	16	0,26	0	0	110,3
<i>Ham</i>	158,9	239,2	78	3,892	93	7,653	612	26,62	39	0,997	39,16	654	10,72	735	20,73	207	4,31	5	0,08	72	2,4	38,24
<i>O. Metguer</i>	165,5	233,6	471	23,5	223	18,35	989	43,02	15	0,384	85,26	708	11,61	2722	76,78	134	2,79	41	0,66	0	0	91,84
<i>Puits</i>	153,8	249,3	152	7,585	62	5,102	170	7,395	6	0,153	20,23	481	7,885	413	11,65	81	1,686	14	0,23	0	0	21,45
<i>RN2 RD</i>	157,2	242	274	13,67	113	9,298	966	42,02	32	0,818	65,81	589	9,656	1604	45,24	337	7,016	5	0,08	0	0	62
<i>RN2 RG</i>	157	242	116	5,788	72	5,925	414	18,01	32	0,818	30,54	586	9,607	575	16,22	57	1,187	5	0,08	36	1,2	28,29
<i>O. Sennan</i>	150,6	228,3	58	2,894	64	5,266	366	15,92	32	0,818	24,9	564	9,246	369	10,41	184	3,831	6	0,1	0	0	23,58
<i>Taoui</i>	153,5	249,1	108	5,389	89	7,324	161	7,003	5	0,128	19,84	349	5,721	422	11,9	104	2,165	11	0,18	0	0	19,97
<i>O. Tayeb</i>	147,45	242,95	153	7,635	80	6,583	469	20,4	32	0,818	35,44	913	14,97	716	20,2	56	1,166	14	0,23	0	0	36,55

<i>Point d'eau</i>	<i>TH (°F)</i>	<i>SIO₂ (mg/l)</i>	<i>PH</i>	<i>R.S (mg/l)</i>	<i>Conductivité (µS/cm)</i>	<i>Minéralisation (mg/l)</i>	<i>TA (°F)</i>	<i>TAC (°F)</i>
<i>AT3 (1^{ère} analyse)</i>	21	28	7,6	740	1100	682	0	28,28
<i>AT3 (2^{ème} analyse)</i>	18,7	28	7,8	720	1100	682	0	28,2
<i>El Malah II</i>	182,5	20	7,5	14040	18700	11594	0	42,87
<i>Aoubellil I</i>	49	9	7,8	1000	1400	868	0	29,1
<i>Sidi Mohammed</i>	31,5	24	8	800	1000	759	0	29
<i>ITAF Bis</i>	53,1	29	7,9	3220	4960	3075	0	48,2
<i>Barrette</i>	22,4	26,4	8,1	820	1210	750	0	21,2
<i>Sidi Haddou</i>	64,4	/	7,4	1480	2320	1438	0	33
<i>Faid El Kitane</i>	49,5	/	7,9	3660	5770	3577	0	22,2
<i>Bailiche Ouled Taoui</i>	67,85	/	8	1660	2400	1488	0	24
<i>Kéroulis</i>	93	/	7,35	/	3630	3085,5	0	29,6

ANNEXES

<i>H.B</i>	66,75	38,6	7,14	2880	4360	3309	0	55,2
<i>Chentouf 02</i>	131,6	3,39	7,2	3823	4800	3641	0	31,5
<i>Ain Kihel V Bis</i>	22,85	11	7,25	1560	1924	1460	0	43,6
<i>S.M+Sidi Boudia</i>	29,45	/	7,5	/	700	595	0	30
<i>Source Berkeche</i>	98	/	6,99	/	1770	1504,5	0	38,8
<i>Aghlal</i>	66	/	7,21	1150	2000	1517,08	0	31,5
<i>Chabaat El Leham</i>	54	/	8,2	/	3460	2941	0	44
<i>Ben Douma</i>	14	/	7,8	/	1960	1666	0	52,4
<i>O. Aghlal</i>	82,802	/	8,13	1860	2500	1898	0	45
<i>O. Berkeche</i>	187,96	/	8,29	4060	5520	4190	0	15
<i>Bouhadjar</i>	168	/	7,9	5060	7060	5359	0	49
<i>Exutoire</i>	126,57	/	7,81	6360	9320	7074	0	57
<i>Ham</i>	57,725	/	8,52	2360	3220	2444	12	66
<i>O. Metguer</i>	209,27	/	7,72	5460	7640	5799	0	58
<i>Puits</i>	63,433	/	7,54	1360	1920	1457	0	39
<i>RN2 RD</i>	114,86	/	7,65	4080	5630	4273	0	48
<i>RN2 RG</i>	58,566	/	8,37	1800	2540	1928	6	54
<i>O. Sennan</i>	40,803	/	6,95	1480	1980	1503	0	46
<i>Taoui</i>	63,564	/	8,19	1260	1780	1351	0	29
<i>O. Tayeb</i>	71,089	/	7,72	2260	3040	2307	0	75

ANNEXES

Annexe III : Résultats des rapports caractéristiques.

Point d'eau	rMg^{2+}/Ca^{2+}	$(rCa^{2+}+rMg^{2+})/rNa^+$	rSO_4^{2-}/rCl^-	$rHCO_3^-/rCl^-$
AT3 (1 ^{ère} analyse)	3,2	0,494	0,091	1,027
El Malah II	0,46	0,203	0,09	0,043
Aoubellil I	0,688	1,813	0,193	0,901
Sidi Mohammed	2	0,926	0,313	1,202
ITAF Bis	1,124	0,259	0,237	0,293
Barrette	1,987	0,64	0,354	0,857
Sidi Haddou	0,982	1,064	0,128	0,417
Faid El Kitane	2,438	0,196	0,124	0,09
Bailiche Ouled Taoui	1,094	1,428	0,116	0,268
Kéroulis	3,537	1,007	0,133	0,211
H.B	0,907	0,405	0,036	0,35
Chentouf 02	0,898	0,823	0,101	0,139
Ain Kihel V Bis	0,758	0,232	1,341	1,294
Sidi Boudia	0,55	0,753	0,261	1,954
Source Berkeche	0,849	5,013	0,22	0,744
Aghlal	0,444	1,115	0,414	0,508
O. Aghlal	0,702	1,244	0,344	0,557
O. Berkeche	1,931	1,197	0,323	0,059
Bouhadjar	1,028	0,772	0,093	0,15
Exutoire	0,989	0,322	0,046	0,121
Ham	1,966	0,434	0,208	0,517
O. Metguer	0,781	0,973	0,036	0,151
Puits	0,673	1,716	0,145	0,677
RN2 RD	0,68	0,547	0,155	0,213
RN2 RG	1,024	0,65	0,073	0,592
O. Sennan	1,82	0,513	0,368	0,888
Taoui	1,359	1,815	0,182	0,481
O. Tayeb	0,862	0,697	0,058	0,741

ANNEXES

Annexe IV : La numérotation correspondant des points d'eau.

<i>Numérotation</i>	<i>Point d'eau</i>
1	<i>AT3 (1^{ère} analyse)</i>
2	<i>AT3 (2^{ème} analyse)</i>
3	<i>El Malah II</i>
4	<i>Aoubellil I</i>
5	<i>Sidi Mohammed</i>
6	<i>ITAF Bis</i>
7	<i>Barrette</i>
8	<i>Sidi Haddou</i>
9	<i>Faid El Kitane</i>
10	<i>Bailiche Ouled Taoui</i>
11	<i>Kéroulis</i>
12	<i>H.B</i>
13	<i>Chentouf 02</i>
14	<i>Ain Kihel V Bis</i>
15	<i>Sidi Boudia</i>
16	<i>Source Berkeche</i>
17	<i>Aghlal</i>
18	<i>O. Aghlal</i>
19	<i>O. Berkeche</i>
20	<i>Bouhadjar</i>
21	<i>Exutoire</i>
22	<i>Ham</i>
23	<i>O. Metguer</i>
24	<i>Puits</i>
25	<i>RN2 RD</i>
26	<i>RN2 RG</i>
27	<i>O. Sennan</i>
28	<i>Taoui</i>
29	<i>O. Tayeb</i>

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A

Ali Belhadj Y., Chouaki A. (2013)- Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques des eaux de la nappe alluviale de la plaine de Maghnia (NW Algérien). *Mém. Ing. Etat, univ. Tlemcen.*

ADJIM H. (2003)- Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la TAFNA, *Mém. Magister, Univ TLEMCEM.*

B

Benhedda N. (2014)- Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'oued El Maleh (NW algérien). *Mém. Ing. Etat, univ. Tlemcen.* 145p.

Bentekhici N. (2006)- Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie).

Bouroche J., Saporta G. (1980)- L'analyse des données, Presses Universitaires de France 127p.

C

Chessel D, Thioulouse J et Dufour A.B.(2004)- Introduction à la classification hiérarchique, Fiche de Biostatistique,stage7.

F

Fenet B. (1975)- Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'origine nord-magrébine : les monts du Tessala et les massifs du littoral oranais.

G

Guardia P. (1975)- Géodynamique de la marge Alpine du continent Africain d'après l'étude de l'Oranie-Nord-Occidentale Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe et le Tell. *Thèse Nice N° 10. 1141.*, 286 p.

K

Kouani A., El Jamali S. et Talbi M. (2007) - Analyse en composantes principales : Une méthode factorielle pour traiter les données didactiques, *Pub. Radisma*, numéro 2, 2007.

L

Laurent C. (2006)- Contextualisation, visualisation et évaluation en apprentissage non supervisé. Thèse de doctorat, université Charles de Gaulle-Lille 3,France.

R

Roche M. (1963)- Hydrologie de surface. Paris, Gauthier - Villars. 430 p.

Rodier J., Legube B., Merlet N., et Coll., (2009)- L'analyse de l'eau. 9 ème édition,Ed DUNOD, Paris, France,pp.84-1243.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

S

Strahler A. N. (1964)- Quantitative Geomorphology. In : Handbook of applied Hydrology (ed. by V.T. Chow), Section 4-II McGraw-Hill, New York, USA.

T

Lasm T., Fossou R. N'Guessan M., Onetie O. Z., Derving B., Tamarc Y., Oga M. S. Nagnin S. (2012)- Contribution hydrogéologique à la connaissance des aquifères discontinus de département de FERKÉ (NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE) pour une meilleure alimentation en eau potable, Rev. Ivoir. Sci. Technol., 19 (2012), p 120.

Thomas G. (1985)- géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin du Bas Chéelif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. Thèse de Doctorat es Sciences, université de Pau et Pays de l'Adour, France, 594 p.

Tukey, J. W. (1977)- « Exploratory Data Analysis » - EDA, Reading, MA, (Addison-Wesley). Cet ouvrage serait en réécriture.

WEBOGRAPHIE

http://www.academia.edu/8084386/Cours_Hydrologie_IGS4
<file:///C:/Users/TOP/Downloads/53858c53e9283.pdf>
<https://ideas.repec.org/p/hal/cesptp/halshs-00287697.html>
https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/287697/filename/12_Boite-a-moustaches-StatVotre.pdf
<http://www.asgq.org/documents/pdf/communication/archives/LaQualiteDelEaudIrrigation.pdf>
https://www.youtube.com/watch?v=SE_4dLh5vXY

ملخص

هذه الدراسة تركز على الحوض الهيدروغرافي المالح في منطقة عين تموشنت، التي تقع في الشمال الغربي من الجزائر، من أجل فهم أفضل وإدارة النوعية الكيميائية للمياه من خلال تطبيق بعض المعالجات الإحصائية.

منطقة الدراسة هي جزء من الشمال التلي، حيث هناك تشكيلات جيولوجية مختلفة تتراوح بين باليوزويك إلى الرباعية، نذكر نوعين من التشكيلات : تشكيلات كربونات وتشكيلات البلهارسيا

حوض الدراسة ممدود إلى حد ما، ويتميز بانحدار حاد أو أكثر بمعدل جريان متوسط للمياه، وهو ما يسهل تسلل المياه. مناخ المنطقة شبه قاحلة.

أتاحت دراسة كيمياء المياه للحوض إظهار السحنة السائدة كلوروري الصوديوم والبيوتاسيوم. إن مدى ملاءمة هذه المياه للري يعطينا نوعية جيدة ومقبولة ومتوسطة وأحيانا رديئة في الري.

أظهر تحليل المكونات الرئيسية، التصنيف الهرمي الصاعد، و صندوق الشاربيين على مياه حوض المالح أن المياه تنقسم إلى مجموعات لها نفس الخصائص (أنيون المهيمنة).

الكلمات المفتاحية: الجزائر، الحوض الهيدروغرافي المالح، تحليل المكونات الرئيسية، التصنيف الهرمي الصاعد، صندوق الشاربيين.

Résumé

Cette étude concerne le bassin versant d'El Malah dans la région d'Ain Temouchent, situé au Nord-Ouest de l'Algérie, dans le souci de mieux comprendre et de gérer la qualité chimique des eaux par l'application de quelques traitements statistiques.

La zone d'étude fait partie du Tell septentrional où affleure différentes formations géologiques allant du Paléozoïque, au Quaternaire, on connaît deux types de formations : les formations carbonatées et les formations schisteuses.

Le bassin étudié est moyennement allongé, caractérise par une pente plus ou moins forte et un taux de concentration de ruissellement moyen, ce qui favorise l'infiltration des eaux. Le climat de la région est semi aride.

L'étude hydro-chimique, des eaux du bassin, a permis de mettre en évidence un faciès prédominant Chloruré sodique et potassique. L'aptitude de ces eaux à des fins d'irrigation montre une qualité bonne, admissible, médiocre et parfois mauvaise par endroit.

L'approche de l'Analyse en Composantes Principales, Classification ascendente héirarchique, boîte à moustaches appliquée aux eaux du bassin versant d'El Malah a fait ressortir que les eaux sont réparties en groupes ayant les meme caractéristiques (anions dominants).

Mots clés : Algérie, bassin versant d'El Malah, , Analyse en compasante principal, Classification ascendente hiérarchique, boîte à moustaches.

Abstract

The study takes place on the watershed of Malah in the region of Ain Temouchent, located in North-West of Algeria, in order to better understand and manage the quality chemical of water by the application of some statistical treatments.

The study area is part of the northern Tell, where various geological formations ranging from the Paleozoic to the Quaternary, two types formations are known; carbonate formations and schistose formations.

The study basin is moderately elongated, characterized by a more or less steep slope and an average runoff concentration, which favors water infiltration. The climate of the region is semi-arid.

The hydro-chemical study, of the waters of the basin, made it possible to demonstrate a predominant facies Chloruré sodium and potassium. The suitability of these waters for irrigation gives us good, acceptable, mediocre and sometimes poor quality at irrigation.

The Principal Component Analysis, ascending hierarchical classification, Whisker Box approach applied to the waters of the El Malah watershed showed that the waters are divided into groups with the same characteristics (dominant anion).

Keywords : Algeria ,watershed of Malah, , Main component analysis, ascending hierarchical classification, Whisker Box