



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université de Larbi Tébessi –Tébessa-  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : Sciences de la Terre et de l'univers



MEMOIRE DE MASTER  
Domaine : Sciences de la terre et de l'univers  
Filière : Géosciences  
Option : Hydrogéologie

Thème :

L'état de minéralisation des eaux souterraines  
de la nappe de Meskiana et leur aptitude à  
l'irrigation.

Présenté par :

CHOUGAR RIHAB  
LAZREG RADIA

Devant le jury :

|                        |                          |           |
|------------------------|--------------------------|-----------|
| Pr. FEHDI Chems Eddine | Université Larbi Tébessi | Président |
| Pr. GOUAIDIA Layachi   | Université Larbi Tébessi | Encadreur |
| Pr. BAALI Fethi        | Université Larbi Tébessi | Examineur |

Session : Juin 2019

## ملخص:

إن تدني نوعية مياه سهل مسكيانة الذي يقع في الشمال الشرقي الجزائري خلال السنوات الأخيرة راجع لتزايد طلب على هذه المياه الحيوية في نشاطات الفلاحية.

غاية هذا البحث هو دراسة تأثير نوعية التربة والعوامل المناخية على نوعية الكيمائية والفيزيائية المياه

يتكون سطح مياه الجوفية لسهل مسكيانة من الطي الرملي الحصى مع بعض الطبقات الصلصالية حدودها الشمالية الشرقية تتوضع بجانب بعض الصخور الغنية بالملح مما يؤثر على نوعية المياه

كما يتميز سهل مسكيانة عناصر تكتونية بسيطة اتجاه العام لطيات هو جنوب - غرب شمال - شرق، أما المناخ السائد في المنطقة هو المناخ الشبه جاف.

نوعية المياه رديئة وذلك رديئة وذلك لكثرة ملوحتها من جهة نوعية الصخور وكذا العوامل مناخية (التبخر والتساقط) كما

نذكر بوجود بعض الملوثات الناتجة عن النشاطات الزراعية خاصة النترات التي يفوق تركيزها 100مغ/لتر في بعض الاحياء وكذلك صرف المياه المستعملة مباشرة بدون معالجة.

كما نذكر ان النتائج جاءت متوافقة مع إشكالية موضوع البحث.

**الكلمات المفتاحية:** سهل مسكيانة، نوعية التربة، المناخ الشبه جاف، تكتونية، علم المناخ.

## Abstract

A deterioration of water quality of the Mio-Plio –Quaternary aquifer of Meskiana plain, located in the North-eastern part of Algeria; in recent years, a high level of water high level of water demand was felt due to remarkable increase water for agriculture use.

The goal of this research is etude influence of the lithological parameters and the climatic factors, onto physicochemical parameters of water.

Meskiana alluvial aquifer is mainly composed of sandy, sandstone and conglomeratic materials with some passages of relatively thin clay layers. It is limited to the north east by diapiric formations, the most important part of its recharge comes from the carbonate formations of the borders.

Meskiana plain characterized by simple tectonated structure the general direction of folding is South-west North-east, as to the climatic predominant in the area is semi-arid

The chemical quality of water is poor resulting from the strong salinity influenced by the lithology of the aquifer and the climatic factors (precipitations and the temperatures).

Pollutants originating from agricultural activities and urban wastes are also present.

The results obtained from this study agree perfectly with the questions raised in the proposal.

**Keywords:** Meskiana plain, lithological, semi-arid, climatic, tectonated

## Résumé

La dégradation de la qualité des eaux de nappe Mio-Plio-Quaternaire de La plaine de Meskiana Son situation dans Nord-Est de l'Algérie. Dans dernières années les activités agricoles contribuent d'une part, à l'accroissement des besoins en eaux.

L'objectif de ce travail est mettre en évidence l'influence de la lithologie et les paramètres climatologiques sur la qualité physicochimique des eaux.

La nappe alluviale de Meskiana est constituée par des alluvions sableuses, gréseuses et conglomératiques, avec des passages argileux. Ses limites Nord-orientales chevauchent des formations diapiriques. Elle est alimentée principalement à partir des formations carbonatées de bordures.

Elle est caractérisée par des éléments tectoniques simples les plissements anté-miocène de direction générale Sud-Ouest Nord-Est, quant à le climat de la région est semi-aride.

La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe et les facteurs climatiques (les précipitations et les températures). On note la présence de quelques polluants, tirant leurs origines des activités agricoles et des rejets urbains.

En fin les résultats issus de cette étude concordent donc parfaitement avec les questions évoquées dans la problématique de départ.

**Mots clés** : la nappe de Meskiana, salinité, lithologie, climat semi-aride. Climatologique, tectonique.

## *Dédicace*

*A celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la  
volonté*

*fait toujours les grands hommes.*

*Mon père.*

*(Mon premier encadrant, depuis ma naissance)*

*A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne  
éducation.*

*Ma Mère.*

*(Qu'elle trouve ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande  
qu'elle  
puisse être, ne sera à la hauteur de ses sacrifices et ses prières  
pour moi)*

*A mes sœurs*

*Ritadje*

*A mes frères*

*Riad Ramzi et firsasse*

*Et un grand dédicace à mon petite fille hanin et mon mère  
loubna*

*A la mémoire de mes grands-parents*

*A tous les membres de ma grande famille*

*Et à tous ceux que j'aime*

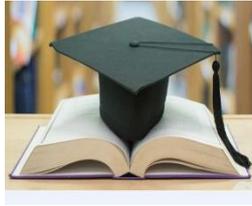
*Vous qui êtes toujours là pour aider, cette dédicace est là pour  
remercier*

*votre patience et pour m'avoir aidé, chaque jour à avancer.*

*Tous mes amis.*

*Je dédie ce mémoire*

**\*RADIA\***



## *DEDICACES*



*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance en témoignage de ma profonde affection à :*

*Ma chère mère qui m'a protégé pendant toute ma vie, et qui a fait tout pour que je devienne ce que je suis.*

*Mon père qui m'a tant aidé et encourager.*

*Tous mes frères et mes sœurs*

*Toute la famille de ma chère mère et père de vieil homme jusqu'à bébé*

*Tous mes amis proches et loin*

*Toute personne qui a contribué de près ou de loin à ma réussite.*

*Toute les enseignants de primaire jusqu'à l'université*

*Tous les camarades pour la bonne humeur et les bons moments passés ensemble de primaire jusqu'à l'université*

***\*RIHAB\****

## *Remerciements*

*En tout premiers lieu ; je remercie Dieu le tout puissant et miséricordieux ; qui m'aide et donne la force ; la patience et courage durant ces longues années d'étude ; d'accomplir ce modeste travail. Je remercie Ma chère famille de leurs aides morale et financière*

*J'exprime mes profonds remerciements à mon directeur de mémoire ; Pr ' Ghouaïdia Layachi' que acquitté de la délicate tâche de rapporteur sur cette étude ; pour sa patience et son encouragement ; encadrement et son orientation.*

*Je voudrais ensuite remercier les membres du jury pour m'avoir guidé et fait l'honneur d'évaluer mon travail ; j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire.*

*J'adresse également mes plus vifs remerciements à tous mes collègues de promotion (2ème année Master hydrogéologie 2019) pour leur soutien et leur encouragement.*

*je remercie toutes les personnes, qui de près ou de loin, m'ont aidé à la réalisation de ce travail.*

*En fin je remercie Tout le corps enseignant et personnel de département de la science de la terre qui a contribué de près ou de loin à ma formation.*

*Rihab et Radia*

## Liste des tableaux Tableau

| <b>Tableau N°</b> | <b>Titre</b>   | <b>Page</b> |
|-------------------|--|-------------|
| II.1              | Caractéristiques hydrogéologiques et géophysiques des formations   | 15          |
| III.1             | Les coordonnées de station Météorologique  | 17          |
| III.2             | Estimation du coefficient mensuel de correction des précipitations                                       | 18          |
| III.3             | Les coordonnées Lambert de la station de mesure de Tébessa (météo de Tébessa).                           | 18          |
| III.4             | Indices d'aridité mensuels (I) à la station de Meskiana.   | 20          |
| III.5             | Variation des précipitations au niveau de la station de Meskiana   | 22          |
| III.6             | Coefficient de correction K dépend du site considéré (climat semi aride)                                 | 26          |
| III.7             | Bilan hydrologique moyen (1971/1972-2004/2005) à la station de Meskiana, par la méthode de Thornthwaite. | 26          |
| III.8             | Répartition des précipitations la station de Meskiana  | 29          |
| V.1               | Représentation de Piper des eaux souterraines de Meskiana  | 43          |
| V.2               | faciès chimique classification de stabler  | 49          |
| V.3               | Indice d'échange de base récapitulatif   | 50          |
| V.4               | Évolution des indices de saturation minéraux des campagnes de l'année 2016                               | 59          |
| V.5               | la classification de l'eau d'irrigation  | 61          |
| V.6               | Matrice de corrélation entre les variables   | 65          |
| V.7               | Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Richards  | 72          |

## Liste des figures

| <b>Figure N°</b> | <b>Titre</b>   | <b>Page</b> |
|------------------|--|-------------|
| <b>1</b>         | <b>Situation géographique de la plaine de Meskiana.</b>  | <b>4</b>    |
| <b>I.2</b>       | <b>Carte géologique schématique du bassin de l'Oued Meskiana (Gouaidia,2008)</b>   | <b>5</b>    |
| <b>I.3</b>       | <b>Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana(Gouaidia,2008)</b>  | <b>6</b>    |
| <b>I.4</b>       | <b>Schéma lithostratigraphique des formations géologiques du bassin de Meskiana</b>                                      | <b>7</b>    |
| <b>I.5</b>       | <b>Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980).</b>  | <b>10</b>   |
| <b>II.6</b>      | <b>Carte de position des sondages électriques verticaux et des profils.</b>  | <b>12</b>   |
| <b>II.7a</b>     | <b>Coupe géo électrique du profil B.</b>   | <b>14</b>   |
| <b>II.7b</b>     | <b>Coupes géo électriques des profils E et H.</b>  | <b>14</b>   |
| <b>III. 8</b>    | <b>Application de la loi de double cumul après correction des erreurs.</b>   | <b>18</b>   |
| <b>III.9</b>     | <b>Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).</b>      | <b>21</b>   |
| <b>III.10</b>    | <b>Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Meskianapour la période (1972/1973-2004/2005).</b>      | <b>21</b>   |
| <b>III.11</b>    | <b>Courbe Ombrothermique de la station de Meskiana</b>   | <b>23</b>   |
| <b>III.12</b>    | <b>Evolution des précipitations annuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).</b>            | <b>23</b>   |
| <b>III.13</b>    | <b>Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station deMeskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).</b>   | <b>24</b>   |
| <b>III.14</b>    | <b>Bilan hydrologique à la station de Meskiana,par la méthode deThornthwaite pour la période (1997/1998 -2017/2018).</b> | <b>27</b>   |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>IV.15</b> | <b>Carte d'inventaire de la nappe de la plaine de Meskiana. mars 2016</b>   | <b>30</b> |
| <b>IV.16</b> | <b>Carte piézométrique de la nappe de Meskiana mars 2016</b>  | <b>32</b> |
| <b>V.17</b>  | <b>Carte des conditions aux limites dans la nappe de Meskiana,Mars2016</b>  | <b>35</b> |
| <b>V.18</b>  | <b>Carte de la minéralisation dans la nappe de Meskiana, mars2016</b>   | <b>36</b> |
| <b>V.19</b>  | <b>Carte du Calcium dans la nappe de Meskiana, mars 2016</b>  | <b>38</b> |
| <b>V.20</b>  | <b>Carte des sodium et potassium dans la nappe de Meskiana (Na+ + K+)</b>   | <b>39</b> |
| <b>V.21</b>  | <b>Carte des chlorures dans la nappe de Meskiana, mars2016</b>  | <b>40</b> |
| <b>V.22</b>  | <b>Carte de Sulfates dans la nappe de Meskiana;mars2016</b>   | <b>41</b> |
| <b>V.23</b>  | <b>Carte des Bicarbonates dans la nappe de Meskiana ;Mars2016</b>   | <b>42</b> |
| <b>V.24</b>  | <b>Diagramme de Piper des eaux souterrains de Meskiana mars 2016</b>  | <b>44</b> |
| <b>V.25</b>  | <b>Diagramme de Scheller des eaux souterrains de Meskiana mars2016</b>  | <b>45</b> |
| <b>V.26</b>  | <b>Diagramme de Scheller des eaux souterrains de Meskiana mars2016</b>  | <b>46</b> |
| <b>V.27</b>  | <b>Diagramme de Scheller des eaux souterrains de Meskiana mars2016</b>  | <b>47</b> |
| <b>V.28</b>  | <b>faciès chimique classification de stabler</b>  | <b>48</b> |
| <b>V.29</b>  | <b>La relation chlorure - sodium dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.</b>   | <b>52</b> |
| <b>V.30</b>  | <b>La relation <math>\text{Na}^{2+}</math> - <math>\text{SO}_4^{-2}</math> dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.</b> | <b>52</b> |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| V.31  | La relation $\text{Ca}^{+2}-\text{Cl}^-$ dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.             | 53 |
| V.32  | La relation $\text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.          | 53 |
| V.33  | La relation $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.          | 54 |
| V.34  | La relation $\text{Na}^+-\text{SO}_4^{-2}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.           | 54 |
| V.35  | Graphe explique le phénomène des échanges de bases  | 55 |
| V.36  | Évolution des anions en fonction de la conductivité électrique.   | 56 |
| V.37  | Evolution de la minéralisation dans la nappe de Meskiana mars 2016.                                     | 57 |
| V. 38 | Variation de l'indice de saturation des minéraux, mars2016  | 58 |
| V.39  | Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Meskiana mars2016  | 62 |
| V.40  | Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Meskiana mars2016  | 63 |
| V.41  | Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Meskiana mars2016  | 64 |
| V.42  | Espace des variables de l'ACP globale.  | 66 |
| V.43  | Espace des individus  | 67 |
| V.44  | Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards, pour la nappe de Meskiana | 68 |
| V44   | Diagrammes de Wicox   | 69 |
| V45   | Diagrammes de Wicox   | 70 |
| V46   | Diagrammes de Richards  | 71 |

## Liste des symboles

**ACP** : Analyse en Composantes Principales

**CE** : Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

**DA** : Déficit Agricole (mm)

**Da** : Densité apparente du sol

**ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm)

**ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm)

**EX** : Excédent en eau du sol (mm)

**I** : Indice d'aridité

**I** : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)

**K** : Perméabilité (m/s)

**P** : Précipitations (mm)

**P** : Profondeur de la couche traversée par les racines (cm)

**Q<sub>2</sub>** : Quotient pluviométrique

**R** : Ruissellement (mm)

**RFU** : Réserve Facilement Utilisable (mm)

**SAR** : Sodium Absorption Ratio

**T** : Température ( $^{\circ}\text{C}$ )

**T** : Transmissivité ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

# Table des matières

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| <b>INTRODUCTION GENERALE</b> | <b>1</b> |
| <b>CADRE GENERAL</b>         | <b>3</b> |
| 1-Situation géographique     | 3        |
| 2-APERCU GEOLOGIQUE          | 3        |
| 3-APERCU CLIMATOLOGIQUE      | 3        |
| 4-APERCU ECONOMIE            | 3        |

## Chapitre I : GEOLOGIE

|   |          |
|---|----------|
| <b>I. CADRE GEOLOGIQUE :</b>                | <b>4</b> |
| I.1 INTRODUCTION :                          | 4        |
| I.2 DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES FORMATIONS | 4        |
| I.2.1 TRIAS                                 | 4        |
| I.2. 2 CRETACE                              | 7        |
| a) Aptien :                                 | 7        |
| b) Albien et Cénomaniens inférieur          | 7        |
| c) Cénomaniens moyen et supérieur           | 7        |
| d) Turonien                                 | 7        |
| e) Emschérien (Coniacien – Santonien)       | 7        |
| f) Campanien                                | 7        |
| g) Maestrichtien                            | 7        |
| I.2.3 PALEOGENE                             | 7        |
| a. Paléocène                                | 7        |
| b. Eocène                                   | 9        |
| I.2.4 NEOGENE                               | 9        |
| ✓ Miocène                                   | 9        |
| I.2.5 QUATERNAIRE                           | 9        |
| A. Villafranchien                           | 9        |
| B. Glacis polygéniques nappant les reliefs  | 9        |
| C. Alluvions actuelles et récentes          | 9        |
| I.4 APERCU TECTONIQUE                       | 9        |
| I.3 Géologie aquifère                       | 9        |
| I.5 CONCLUSION                              |          |

## Chapitre II GEOPHYSIQUE APPLIQUEE

|   |           |
|---|-----------|
|   | <b>12</b> |
| II.1 INTRODUCTION   | 12        |
| II.2 Prospection électrique                                       | 13        |
| II.2.1 Interprétations des résultats de la prospection électrique | 13        |
| II.2.2 Apport de la prospection électrique :                      | 13        |
| II.3 CONCLUSION   |           |

## **Chapitre III : HYDROCLIMATOLOGIE**

|  |    |
|--|----|
| III.1 INTRODUCTION   | 17 |
| III.2 CLIMATOLOGIE :                                       | 17 |
| III.3 Méthode des rapports :                               | 17 |
| III.4 Indice de De Martonne                                | 19 |
| III.5 Indice d'aridité mensuel                             | 19 |
| III.6 ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES                       | 20 |
| III.6.1 LA TEMPERATURE :                                   | 20 |
| III.6.1.1 Variations des températures moyennes annuelles   | 20 |
| III.6.1.2 Variations de la température moyenne mensuelle   | 21 |
| III.7 LA PLUVIOMETRIE                                      | 22 |
| III.7.1 Diagramme ombrothermique :                         | 22 |
| III.7.1 Variations interannuelles des précipitations       | 23 |
| III.7.2 Variations moyennes mensuelles des précipitations  | 23 |
| III.8 Variation de précipitation                           | 24 |
| III.8.1 Estimation de l'évapotranspiration                 | 24 |
| III.8.1.1 Introduction                                     | 24 |
| III.8.1.2 Évapotranspiration réelle (ETR) :                | 24 |
| ❖ Formule de TURC  | 25 |
| III.8.1.3 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) | 25 |
| ❖ Formule de THORNTHWAITE                                  | 25 |
| III.9 CONCLUSION   | 28 |

## **Chapitre IV : HYDROGEOLOGIE**

|  |    |
|--|----|
| IV.1 INTRODUCTION                            | 29 |
| IV.2 GEOMETRIE DE L'AQUIFERE :               | 29 |
| IV.3 Etudes piézométriques :                 | 29 |
| IV.3.1. Introduction :                       | 29 |
| IV.4 Inventaire des points d'eau             | 29 |
| IV.5 Piézométrie                             | 31 |
| IV.6 Interprétation des cartes piézométrique | 31 |
| IV.7 Alimentation et recharge de la nappe :  | 33 |
| IV.8. Conclusion                             | 33 |

## **Chapitre V : HYDROCHIMIE**

|  |    |
|--|----|
| V.1 Introduction                       | 34 |
| V.2 Cycle de l'eau et minéralisation   | 34 |
| V.3 Conditions aux limites             | 34 |
| V.4 Minéralisation :                   | 35 |
| ❖ Etude des paramètres chimiques       | 37 |
| V.4.1. Cations                         | 37 |
| • Calcium $Ca^{++}$                    | 37 |
| • Sodium et potassium ( $Na^+ + K^+$ ) | 38 |
| V.4.2. Anions                          | 40 |

|  |    |
|--|----|
| • Chlorures $\text{Cl}^-$  | 40 |
| • Sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ )  | 41 |
| Bicarbonates   | 42 |
| V.5 Représentation graphique des résultats   | 43 |
| ➤ Détermination des faciès chimiques   | 43 |
| V.5.1. Diagramme de Piper  | 43 |
| V.5.2. Diagramme de Schoeller - Berkloff   | 44 |
| V.5.3. Classification de Stabler   | 47 |
| V.6 Indice d'échange de base (i.e.b)   | 50 |
| V.7 Évolution des éléments chimiques   | 51 |
| V.8 Les Rapports Caractéristiques  | 52 |
| V.8.2 Le Rapport $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$   | 52 |
| V.8.2 Le Rapport : $\text{Mg}^{+2} / \text{SO}_4^{-2}$                                     | 52 |
| V.8.3 Le Rapport : $\text{Ca}^{+2} / \text{Cl}^-$  | 53 |
| V.8.4 Le Rapport : $\text{Mg}^{+2} / \text{HCO}_3$   | 53 |
| V.8.5 Le Rapport : $\text{Ca}^{+2} / \text{HCO}_3$   | 54 |
| V.8.6 Le Rapport : $\text{Na}^{+2} / \text{SO}_4^{-2}$                                     | 54 |
| V.8.7 Le Rapport Echanges de bases   | 55 |
| V.8.8 Les Rapports $/\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{-2}$ et $\text{HCO}_3$                   | 56 |
| V.9 Interprétation du profil hydrogéochimique  | 56 |
| V.10 Origine des éléments chimiques  | 57 |
| V.10.1. Origine du calcium $\text{Ca}^{+2}$ :  | 57 |
| V.10.2. L'origine des sulfates et bicarbonates :   | 57 |
| V.10.3. L'origine du sodium :  | 57 |
| V.10.4. L'origine de la salinité   | 58 |
| V.10.5. Indice de saturation   | 58 |
| V.11 Classification des eaux d'irrigation  | 60 |
| V.12 Diagramme de Wilcox   | 61 |
| V.13 ANALYSE STATISTIQUE (APPLICATION DE L'ACP):   | 65 |
| V.13.2 Principe:   | 65 |
| V.13.3 Matrice de corrélation:   | 66 |
| V.7.3.1 Analyse de l'espace des variables (fig.V42) :                                      | 66 |
| V.13.3.2 Analyse de l'espace des individus (fig.V.43)                                      |    |
| V.14 Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards : | 67 |
| V.14.1 Classification des eaux par la méthode de Wilcox :                                  | 68 |
| V.15. CONCLUSION   | 72 |
| Conclusion générale  | 73 |

# Bibliographie :

## Référence :

**ANONYME, (1973-1975) :** Fiche technique des forages : A3, AL5, B10, B8, CD7 D1, E2, E5, K5, MK2, MK4, MK5.

**DUROZOY G. (1956) :** Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa feuille 206, et sa notice Explicative

## Référence pour une thèse :

**GOUAIDIA L et al. (2004) :** Application des méthodes statistiques pour expliquer le Chimisme de la nappe alluvionnaire de Meskiana. Colloque international Terre et Eau. Université d'Annaba 04,05& 06décembre 2004.

**Gouaidia, L., 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi -aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien. Thèse de Doctorat Uni Annaba.

## Référence pour un article de revue :

**GOUAIDIA L.<sup>1</sup>, GUEFAIFIA O. <sup>1</sup>, BOUDOUKHA A. <sup>2</sup> & HEMIL., 2013.** Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : Exemple de la plaine de Meskiana, nord-est algérien. *Géo-Eco-Trop* n°37.page82

**A.B.H, (2001) :** Les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques « A.B.H » ; « Le bassin versant Medjerda Mellague », N° 6. 24p.

**Farhat, B., Ben mammou, A., 2001.** Evolution récente de la Sebkhet Bou Zid (Nord Est du Cap Bon). IVème Congrès Maghrébin des Sciences de la Mer. Tunisie.

**Halimi, A. (1981):** L'atlas blidéen "climat et étages végétaux", OPU, Alger, 623p.

**Journal officiel, (1983) :** Journal officiel de la République Algérienne du 08/02/1983. Loi n°83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement.

**Maneglier, H., (1991),** *Histoire de l'eau, du mythe à la pollution*, Paris.

**Perthuisot, J.P, 1995.** La Sebkha El Melah de Zarzis. Genèse et évolution d'un bassin salin paralique. Trav. Lab. Géol. Ec. Norm. Supér., Paris 9, 252 p.

**STUMM W., MORGAN J.J. (1981).** aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters, a Wiley-interscience publication, 780p.

**Tricart, J., 1954.** Une forme de relief climatique : Les Sebkhas, Rev. Géomorph .Dynam, 3 : 19

**Vincent, V.,** Cours sur les eaux thermales, Université d'avignon LHA, France, 2006.

**Yves, H., (2003),** Cours de sédimentologie, 1re année licence Science de la Terre, Université Paul Sabatier, Toulouse. **Yves, L., (2010),** L'eau dans le monde : les batailles pour la vie, LAROUSSE, France.

### **Référence pour un mémoire :**

**RAHAL ,Omar., juin 2015**, Mise en évidence de l'origine de la salinité des eaux souterraines de la nappe de MESKIANA Nord Est algérien. Mémoire de fin d'étude (Magter 2 hydrogéologie).Uni Tébessa.

**HAMAD OMAR ,YOUSFI RABIAA ;2004**, Apport des application statistique sur l'explication du chimisme de la nappe alluviale de la plaine de Meskiana ,Nord-Est Algérien. Mémoire de fin d'étude (Magter 2 hydrogéologie).Uni Tébessa.

### **Référence pour un livre :**

**CASTANY, G. (1967)**: Traité pratique des eaux souterraines, Ed. Dunod, 551 p.

**CASTANY, G. (1968)**: Prospection et exploitation des eaux souterraines, Ed. Dunod, 683 p.

**CASTANY, G. (1982)**: Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Ed. Dunod, 263 p.

**CASTANY, G. et MARGAT, J. (1977)**: Dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed. BRGM, Orléans, 250 p.

### **Web graphie :**

<http://fr.wikipedia.org>

<http://www.Aureschaouia.free.fr>

<http://www.articque.com>

<http://www.CGM.com>

<http://www.cig.ensmp.fr>

<http://www.eleves.ens.fr>

<http://www.hydrogéologie.com>

<http://www.Scholar.google.com>

<http://www.u-picardie.fr>

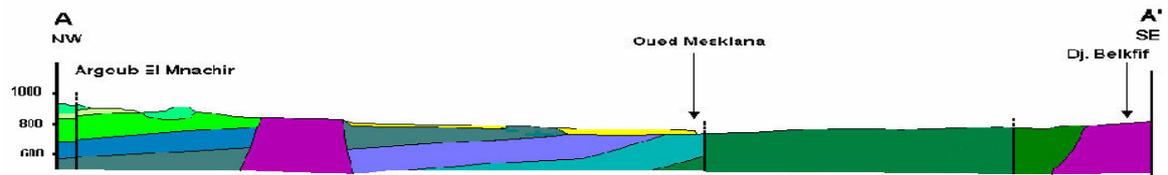
<http://www.ifen.fr>

# **ANNEXES**

# ANNEXE I

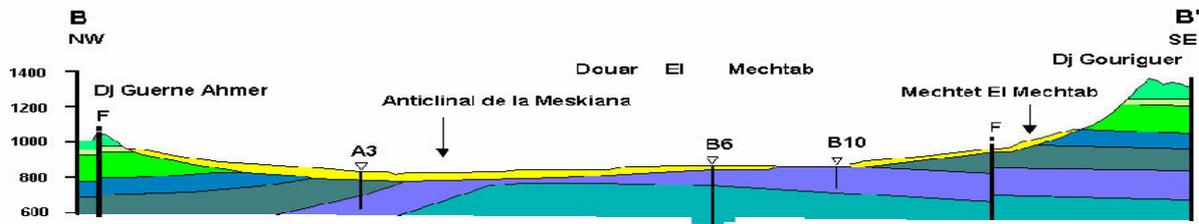
(Géologie)





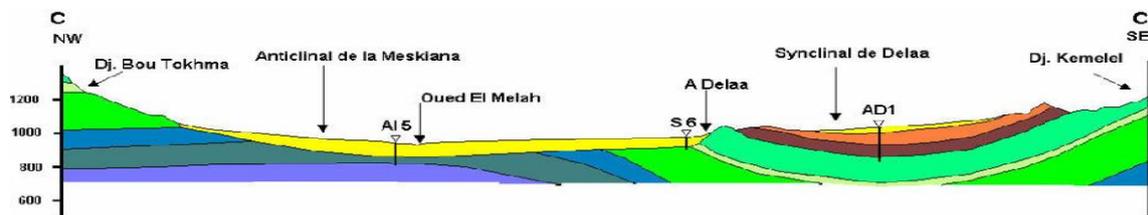
Echelle  
0 1 2 3 4 5 Km

Exagération Verticale = 5



Echelle  
0 1 2 3 4 5 Km

Exagération Verticale = 5



Echelle  
0 1 2 3 4 5 Km

Exagération Verticale = 5

### Légende:

- Quaternaire : Alluvions actuelles et récentes.
- Miocène : Grès blancs grossiers à quartz.
- Thanétien-Yprésien : Alternance de micrite et de biomicrite blanchâtres.
- Maestrichtien sup : Calcaire noduleux à Inocérame.
- Maestrichtien inf : Mame grise à beige
- Campanien : Mame argileuse surmontant des mamo-calcaires.
- Santonien : Mame grise à rare intercalation de mamo-calcaires.

- Forage hydraulique
- Faille
- Contact stratigraphique
- Coniacien : Marnes grises et alternance de marnes beiges avec des calcaires.
- Turonien moy : Marnes argileuses et calcaire.
- Turonien inf : Marnes grises et mamo-calcaire.
- Cénomanién : Marnes argileuses et calcaire.
- Aptien : Mamo-calcaires et marnes argileuses
- Trias : Cargneule, gypse mameux, dolomie et grès.

Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana (Gouaidia,2008 ;Thèse de doctorat).

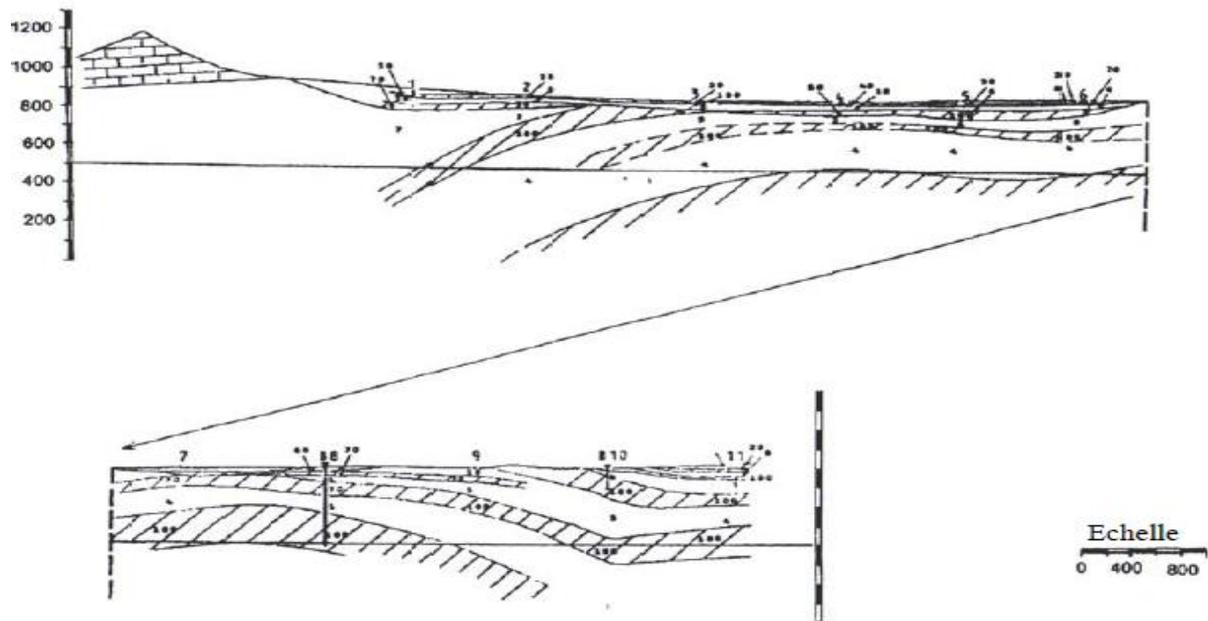


Figure II.7a : Coupe géo électrique du profil B(CGG in Gouaidia,2008 Thèse de doctorat)

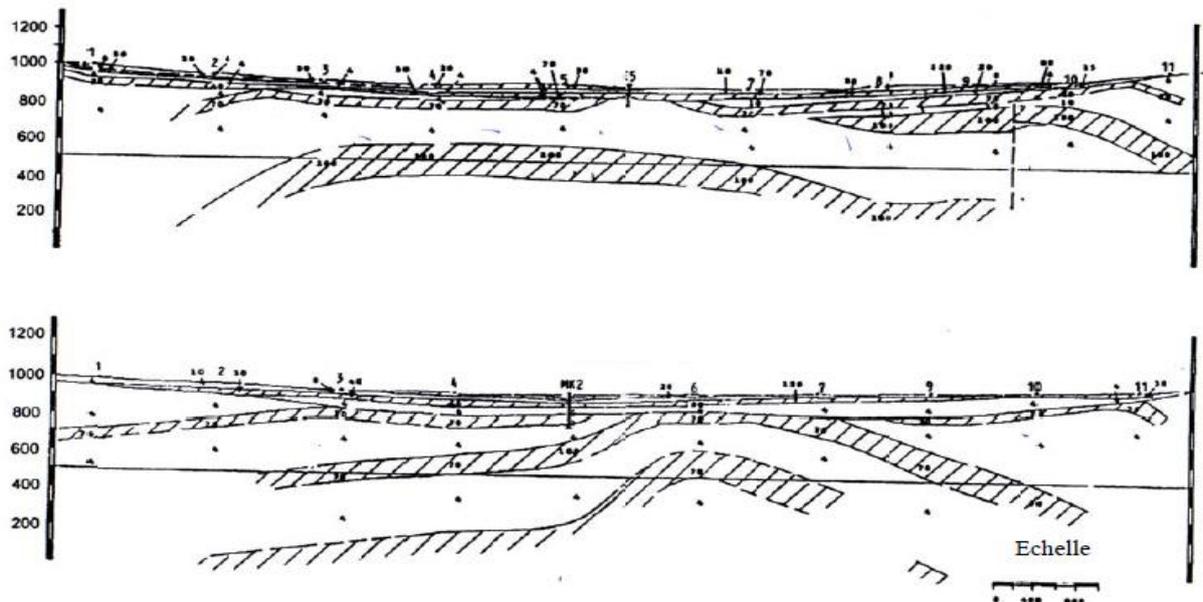


Figure II.7b : Coupes géo électriques des profils E et H (CGG in Gouaidia, 2008 Thèse de doctorat)

**Légende**



1 Sondages électriques      2 Formation conductrice

3 Formation résistante      4 Forage hydraulique

# ANNEXE II

(hydroclimatologie)

## Les précipitations interannuelles aux stations de tebessa:

| Mois/Années | S     | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A     | Total | Moyen |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1997-1998   | 51,3  | 62,7  | 39,3  | 23,5  | 21,5  | 12    | 34    | 24,9  | 12,2  | 38,1  | 0     | 15,6  | 335,1 | 27,93 |
| 1998-1999   | 51,3  | 34,3  | 42,4  | 15,4  | 71,8  | 9,5   | 48,7  | 6,9   | 17,6  | 10,7  | 17,8  | 30,5  | 355,2 | 29,60 |
| 1999-2000   | 51,3  | 63,6  | 73,7  | 25,4  | 6,6   | 3,5   | 7,1   | 15,1  | 70,5  | 78,1  | 17,5  | 16,2  | 397,5 | 33,13 |
| 2000-2001   | 51,3  | 13,2  | 14,7  | 9,4   | 20,2  | 14,8  | 12,2  | 1     | 40,8  | 0,2   | 5,8   | 10    | 149,1 | 12,43 |
| 2001-2002   | 51,3  | 17,5  | 20,9  | 7,8   | 13,8  | 10,3  | 9,7   | 25,8  | 42,8  | 23,9  | 60,5  | 93    | 382,6 | 31,88 |
| 2002-2003   | 51,3  | 40,5  | 75    | 28,5  | 127   | 38    | 17,7  | 95,9  | 28,6  | 4,3   | 2,8   | 23,1  | 515,5 | 42,96 |
| 2003-2004   | 51,3  | 43,4  | 12,6  | 148,6 | 19,1  | 2,3   | 91,2  | 24,9  | 49,7  | 88,8  | 16,4  | 32,5  | 584,5 | 48,71 |
| 2004-2005   | 51,3  | 22,6  | 112,7 | 59,9  | 20,9  | 36,9  | 30,9  | 22,5  | 2,1   | 40,8  | 1,3   | 46    | 419,9 | 34,99 |
| 2005-2006   | 51,3  | 118,3 | 29    | 69    | 39    | 12    | 4,5   | 49,3  | 40,5  | 21    | 7,1   | 39,7  | 468,4 | 39,03 |
| 2006-2007   | 51,3  | 15,5  | 4     | 54    | 5,5   | 9,5   | 59    | 82    | 48,5  | 46,5  | 14    | 23    | 380,5 | 31,71 |
| 2007-2008   | 51,3  | 14,5  | 5,5   | 32    | 8,5   | 14    | 46,5  | 23,5  | 64    | 11,5  | 5,5   | 7     | 289,5 | 24,13 |
| 2008-2009   | 51,3  | 31,5  | 15    | 53,7  | 99,5  | 11,8  | 33,7  | 144,1 | 72,7  | 0     | 14    | 11,8  | 591,8 | 49,32 |
| 2009-2010   | 51,3  | 2     | 2     | 6,8   | 38,7  | 3,1   | 13,1  | 79,3  | 35    | 25,9  | 20,2  | 2,4   | 279,8 | 23,32 |
| 2010-2011   | 51,3  | 16,5  | 55,1  | 5,5   | 26,5  | 66,7  | 60,3  | 43,3  | 47,2  | 28,4  | 54,2  | 10,2  | 465,2 | 38,77 |
| 2011-2012   | 3     | 86,1  | 3,4   | 8,9   | 46,4  | 57,2  | 39,4  | 24,1  | 27,8  | 2,1   | 3,5   | 35,5  | 337,4 | 28,12 |
| 2012-2013   | 41    | 54,9  | 13,2  | 2,6   | 20,1  | 8,6   | 25    | 33,4  | 8,8   | 0,7   | 14,8  | 26,5  | 249,6 | 20,80 |
| 2013-2014   | 46,8  | 38,7  | 39,7  | 28,4  | 38,7  | 48,4  | 27,9  | 2,3   | 199   | 29    | 22,5  | 8,7   | 530,1 | 44,18 |
| 2014-2015   | 49,3  | 7,1   | 43,2  | 49,5  | 30,4  | 66,7  | 42,7  | 1,3   | 20,7  | 66    | 38,4  | 72,4  | 487,7 | 40,64 |
| 2015-2016   | 45,8  | 30,3  | 55,9  | 0     | 13,4  | 4,3   | 32,3  | 18,1  | 37,7  | 2,7   | 0,8   | 13,6  | 254,9 | 21,24 |
| 2016-2017   | 30    | 49,3  | 18,7  | 65,8  | 23,4  | 8,7   | 10,5  | 46,7  | 32,8  | 17,6  | 14,3  | 10    | 327,8 | 27,32 |
| 2017-2018   | 41,2  | 49    | 32,8  | 8,6   | 0,7   | 29,6  | 20,3  | 26,8  | 95,5  | 12,8  | 3,4   | 72,1  | 392,8 | 32,73 |
| total       | 975,3 | 811,5 | 708,8 | 703,3 | 691,7 | 467,9 | 666,7 | 791,2 | 994,5 | 549,1 | 334,8 | 599,8 |       |       |
| moyenne     | 46,44 | 38,64 | 33,75 | 33,49 | 32,94 | 22,28 | 31,75 | 37,68 | 47,36 | 26,15 | 15,94 | 28,56 |       |       |

## La Température :

| Années/mois | S     | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A     | Total | moyenne |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1997-1998   | 20,5  | 17    | 11,5  | 8,5   | 7,2   | 9,3   | 9,8   | 15,1  | 17,7  | 24,6  | 27,8  | 25,7  | 194,7 | 16,23   |
| 1998-1999   | 23,2  | 15    | 10,2  | 6,3   | 7,1   | 8,2   | 10,2  | 14,9  | 28,1  | 25,8  | 26,2  | 28,9  | 204,1 | 17,01   |
| 1999-2000   | 23,6  | 19,2  | 11,1  | 7,1   | 4,1   | 7,8   | 11,7  | 16,1  | 21    | 22,4  | 27,5  | 28,9  | 200,5 | 16,71   |
| 2000-2001   | 22,1  | 15,9  | 12,8  | 9,4   | 8     | 7,5   | 15,6  | 14    | 19,6  | 25    | 28,4  | 27,1  | 205,4 | 17,12   |
| 2001-2002   | 22,3  | 21,1  | 11,6  | 6,8   | 6,3   | 9     | 12,5  | 15    | 19,4  | 25,1  | 26,6  | 24,9  | 200,6 | 16,72   |
| 2002-2003   | 21,2  | 17,8  | 11,8  | 8,8   | 6,9   | 6,1   | 10    | 14,1  | 18,9  | 25,2  | 29,2  | 27,4  | 197,4 | 16,45   |
| 2003-2004   | 21,5  | 19,6  | 12,2  | 7     | 6,9   | 9,6   | 11,2  | 12,8  | 15,9  | 22,4  | 26,2  | 27    | 192,3 | 16,03   |
| 2004-2005   | 20,8  | 20,5  | 12,3  | 8,1   | 4,5   | 4,9   | 11,2  | 14,2  | 21,1  | 23,7  | 28,5  | 25,9  | 195,7 | 16,31   |
| 2005-2006   | 21,6  | 20,5  | 10,2  | 6,5   | 9,4   | 7,2   | 11,8  | 16,6  | 21,3  | 24,8  | 26,5  | 25,9  | 202,3 | 16,86   |
| 2006-2007   | 21,4  | 17,8  | 12,1  | 7,9   | 8,8   | 9,2   | 9,7   | 13,5  | 18,5  | 25,3  | 26,5  | 26,7  | 197,4 | 16,45   |
| 2007-2008   | 22    | 19    | 12,1  | 6,9   | 7     | 8,3   | 10,9  | 15,5  | 19,3  | 23,4  | 27,2  | 27,2  | 198,8 | 16,57   |
| 2008-2009   | 22,2  | 17,6  | 10,5  | 0,3   | 7,1   | 6,4   | 13,1  | 11,5  | 10,3  | 24,2  | 26,8  | 26,8  | 176,8 | 14,73   |
| 2009-2010   | 35,25 | 27,4  | 23,35 | 19,5  | 15,45 | 18,35 | 23,15 | 27,8  | 29,65 | 39,9  | 44,8  | 45    | 349,6 | 29,13   |
| 2010-2011   | 28,4  | 29,05 | 20,8  | 16,9  | 15,1  | 12,75 | 17,35 | 25,9  | 29,7  | 37,65 | 45,55 | 44,8  | 324   | 27,00   |
| 2011-2012   | 39,2  | 27,3  | 21,45 | 14,7  | 14,45 | 9     | 17,05 | 25,4  | 33,5  | 48,05 | 48,05 | 28,55 | 326,7 | 27,23   |
| 2012-2013   | 36,25 | 32,65 | 29,1  | 15,6  | 13,8  | 7,65  | 23    | 23    | 27,7  | 38,5  | 31,9  | 42,35 | 321,5 | 26,79   |
| 2013-2014   | 37,95 | 36,15 | 19,3  | 13,9  | 15,05 | 16,75 | 16,2  | 26,6  | 32,4  | 39    | 45,5  | 46,6  | 345,4 | 28,78   |
| 2014-2015   | 40,95 | 32,9  | 24,65 | 14    | 12,35 | 11,2  | 17,8  | 26,75 | 34,65 | 38,25 | 45,05 | 43,45 | 38,25 | 3,19    |
| 2015-2016   | 36,5  | 30,85 | 20,4  | 16,2  | 16,9  | 18,75 | 21,8  | 23,8  | 35,6  | 42,6  | 50,65 | 46,55 | 360,6 | 30,05   |
| 2016-2017   | 36,8  | 26,85 | 19    | 12,75 | 10,25 | 17,9  | 21,8  | 23,8  | 35,6  | 42,35 | 50,65 | 46,55 | 344,3 | 28,69   |
| 2017-2018   | 36,8  | 26,85 | 19    | 12,75 | 17    | 13,8  | 22    | 28,15 | 30,7  | 38,15 | 49,45 | 39,95 | 334,6 | 27,88   |
| Total       | 590,5 | 491   | 335,5 | 219,9 | 213,7 | 219,7 | 317,9 | 404,5 | 520,6 | 656,4 | 739   | 706,2 |       |         |
| M, int An   | 28,12 | 23,38 | 15,97 | 10,47 | 10,17 | 10,46 | 15,14 | 19,26 | 24,79 | 31,25 | 35,19 | 33,63 |       |         |

### INTRODUCTION GENERALE :

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines dans plusieurs domaines alimentation en eau potable, industriel, agriculture. L'eau peut être rare à certains endroits, dans le cas de la plaine de Meskiana leur nappe est influencé par plusieurs facteurs sont :

Les conditions climatiques ; climat semi-aride très sévère, avec une forte évapotranspiration.

- la lithologie qui caractérisée par les formations triasiques et évaporitiques
- rejets urbains non contrôlés
- l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture.

Ces facteurs permettent la diversification et la concentration des minéraux dans les eaux souterraines de la nappe de Meskiana qu'utilise essentiellement à l'irrigation et l'alimentation en eau potable.

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium par le complexe adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie

C'est dans ce cadre que cette étude a été menée, afin d'analyser la qualité des eaux au niveau de la dite nappe.

Quelques études, déjà réalisées sur la plaine de Meskiana (mémoires d'ingénieur, de Magister et une thèse de Doctorat), ont signalé l'influence de la nature lithologique sur la minéralisation des eaux souterraines. Les facteurs climatiques ont également contribué à la variation de cette minéralisation.

Dans cette étude, nous allons essayer de mieux comprendre l'impact de la minéralisationsur la qualité de cette ressource souterraine et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens plus adéquats.

Le programme d'action pour la réalisation de ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- ✓ Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe?
- ✓ Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques dans le temps et dans l'espace (influence de la lithologie et des facteurs climatiques sur le chimisme de la nappe)?
- ✓ Quel est l'origine des éléments chimiques dans les eaux des Meskiana ?

Afin de répondre à ces préoccupations, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- Étude du cadre naturel et hydrodynamique en relation avec la qualité chimique.
- Étude des paramètres physiques et chimiques de l'eau.
- Étude des dépendances et relations entre les divers paramètres physico-chimiques de l'eau.
- Étude des mécanismes d'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.
- Étude origines des éléments chimiques.

Pour concrétiser ce programme de travail, un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) de la qualité physico-chimique et piézométrique des eaux souterraines a été réalisé. Plusieurs outils (géologique, hydrodynamique, chimique, statistique et informatique) ont été utilisés afin de mieux interpréter les données acquises

Les explications des phénomènes et le détail des résultats seront présentés dans les chapitres qui constituent ce mémoire.

Le premier expose les caractéristiques physico-géologiques de la plaine.

Le deuxième détaille la géométrie de l'aquifère basée sur la prospection électrique et la carte piézométrie. L'élaboration de cette étude confirmera la disposition des formations géologiques et leur susceptibilité en tant qu'aquifère.

A la fin de ce chapitre, on a pu acquérir une vision plus précise sur la géométrie et l'extension des couches qui pourraient être aquifères ainsi que sur leur composition lithologique (qui influe sur le chimisme de la nappe) une étude des différents paramètres climatiques, tels que le type de climat, l'évolution des précipitations, l'évolution des températures, l'estimation de l'évaporation et le calcul du bilan hydrologique par la méthode de G.W.Thornthwaite.

Le second a été consacré aux caractéristiques hydrogéologiques (conditions aux limites, piézométrie et paramètres hydrodynamiques de la nappe), à l'évolution et à la répartition des éléments chimiques, ainsi qu'à la détermination des différents minéraux qui existent dans les eaux souterraines.

Le troisième chapitre traite l'hydrochimie par les analyses physico-chimiques, étude les faciès des eaux par diagrammes (Piper et Stables), l'interprétation des cartes des faciès, et présenter l'origine des éléments chimiques. A la fin de ce chapitre, on étudie l'aptitude des eaux à l'irrigation avec les diagrammes de Wilcox et Richard.

### CADRE GENERAL

#### 1- Situation géographique :

La plaine de Meskiana s'étend sur une superficie de 1700 km<sup>2</sup> et se localise au Nord-Est algérien, à 200 km de la mer Méditerranée (figure 01) et fait partie du haut bassin de l'oued Mellègue. Elle constitue également une partie intégrante des hauts plateaux qui sont représentés par un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude, plus ou moins séparées par des dépressions. Plusieurs agglomérations se localisent dans la plaine d'étude, à savoir Bellala, Dalâa, Meskiana, Rehia et Zebar, comptant plus de 48000 habitants selon un recensement fait en 2004. Vu sa situation géographique.

Les limites géographiques du bassin de Meskiana sont présentées comme suit :

- ✓ Limite Nord : Djebel Mesloula, Argoub El Mnachir et Djebel Khannaga ;
- ✓ Limite Nord-Ouest : Djebel Chettaya, Djebel Bou Thokhma, et Djebel Ahmar ;
- ✓ Limite Nord-Est : Djebel Belkfif ;
- ✓ Limite Sud-Est : Djebel Gouriguer, Djebel Es Stih, et Djebel Khemalal ;
- ✓ Limite Sud-Ouest : Djebel Boutoukhma et Chott Esbikha.

#### 2- APERCU GEOLOGIQUE :

Sur plan géologique, le bassin de Meskiana est constitué de formations sédimentaires autochtones nord-aurésiennes qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Ces formations comprennent (KUSCER, 1985) :

- ✓ des terrains anciens représentés par le Trias apparaissant en diapirs (exp : Djebel Mesloula et Djebel Blkfif) ;
- ✓ d'importantes assises d'âge crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées des marnes et des calcaires ;
- ✓ divers recouvrements continentaux représentés par des alluvions actuelles et récentes, des grès, des sables et de graviers, représentant le Mio-Plio-Quaternaire.

#### 3- APERCU CLIMATOLOGIQUE :

La plaine de Meskiana caractérisée par un climat semi-aride où les précipitations moyennes interannuelles enregistrées ne dépassent pas 340 mm, accompagnées d'une évapotranspiration réelle de l'ordre de 315 mm. Celle-ci conduira à des eaux concentrées en sels (LACHARME, 2001).

#### 4- APERCU ECONOMIQUE:

La plaine de Meskiana appartient à un domaine sub-saharien, d'un climat semi-aride à faibles précipitations et par conséquent le développement du couvert végétal est limité. Les agglomérations n'ont été dotées d'aucune infrastructure industrielle, à l'exception d'une usine de laines et textiles actuellement à l'arrêt, alors que l'agriculture et l'élevage se sont bien développés. En effet, cette région appartient, agro-écologiquement, aux hautes plaines intérieures orientales céréalières, qui ont des microclimats généralement contraignants (hiver froid à très froid, été chaud à très chaud et sec). La pluviosité est généralement limitée et l'eau constitue l'élément clé du système de culture mis en place. Durant les années pluvieuses où l'eau d'irrigation est disponible, on rencontre les cultures maraîchères, les cultures fourragères et les céréales avec un assolement biennal et parfois triennal, alors que durant les années de sécheresse, les cultures maraîchères et fourragères seront réduites et on se contente des céréales pour seulement équilibrer les revenus des agriculteurs. Ces dernières années, le secteur de l'agriculture et de l'élevage a connu un épanouissement important suite au lancement des

programmes de PNDA en 2000 et celui du FNRDA en 2001. Ces programmes ont provoqué l'extension des terres irriguées et multiplié les cycles culturaux.

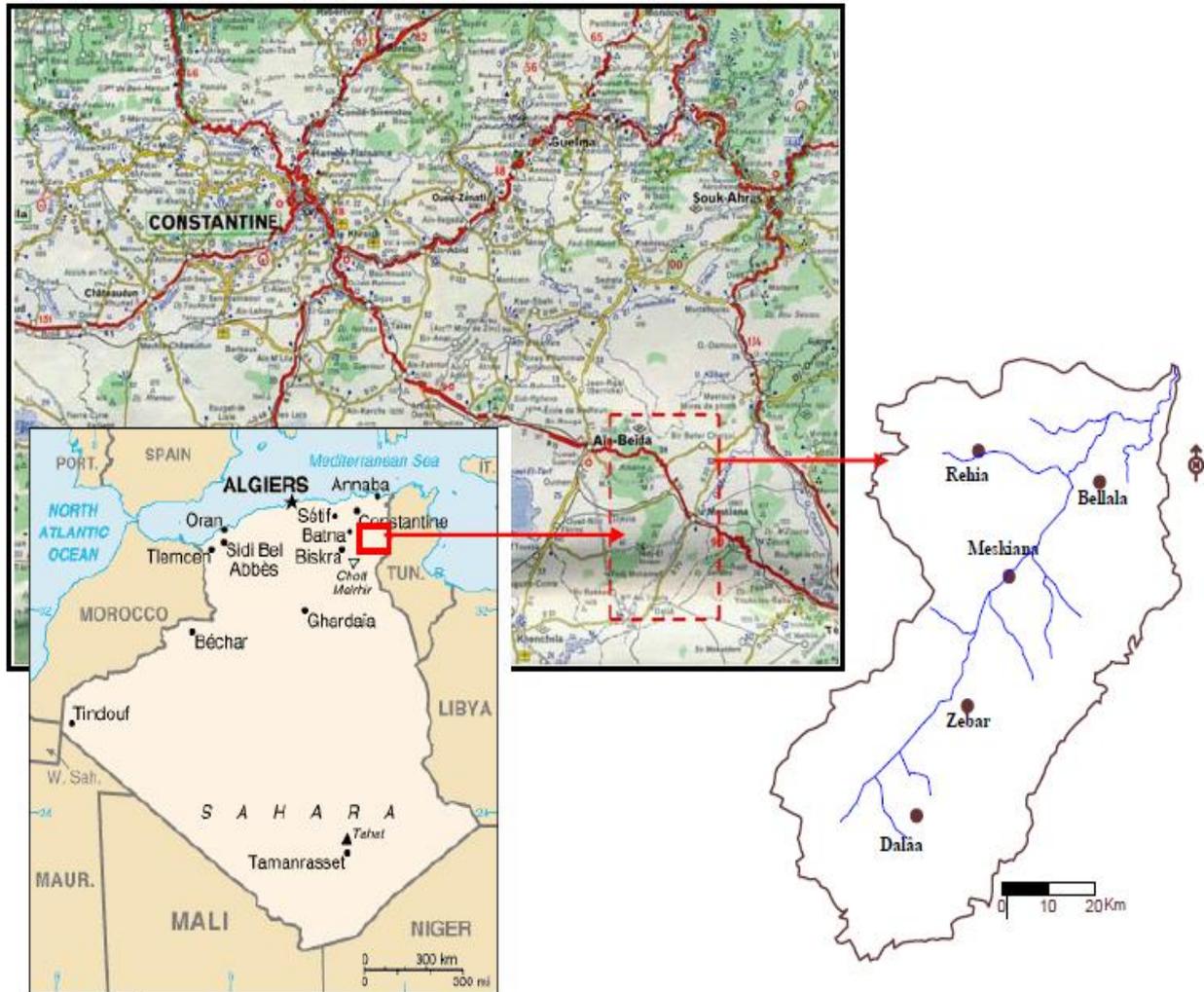


Figure 01 : Situation Géographique de la Plaine de Meskiana ( Rahal Omar ;2014)

## CADRE GENERAL

### 1- Situation géographique :

La plaine de Meskiana s'étend sur une superficie de 1700 km<sup>2</sup> et se localise au Nord-Est algérien, à 200 km de la mer Méditerranée (figure 01) et fait partie du haut bassin de l'oued Mellègue. Elle constitue également une partie intégrante des hauts plateaux qui sont représentés par un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude, plus ou moins séparées par des dépressions. Plusieurs agglomérations se localisent dans la plaine d'étude, à savoir Bellala, Dalâa, Meskiana, Rehia et Zebar, comptant plus de 48000 habitants selon un recensement fait en 2004. Vu sa situation géographique.

Les limites géographiques du bassin de Meskiana sont présentées comme suit :

- ✓ Limite Nord : Djebel Mesloula, Argoub El Mnachir et Djebel Khannaga ;
- ✓ Limite Nord-Ouest : Djebel Chettaya, Djebel Bou Thokhma, et Djebel Ahmar ;
- ✓ Limite Nord-Est : Djebel Belkfif ;
- ✓ Limite Sud-Est : Djebel Gouriguer, Djebel Es Stih, et Djebel Khemalal ;
- ✓ Limite Sud-Ouest : Djebel Boutoukhma et Chott Esbikha.

### 2- APERCU GEOLOGIQUE :

Sur plan géologique, le bassin de Meskiana est constitué de formations sédimentaires autochtones nord-aurésiennes qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Ces formations comprennent (KUSCER, 1985) :

- ✓ des terrains anciens représentés par le Trias apparaissant en diapirs (exp : Djebel Mesloula et Djebel Blkfif) ;
- ✓ d'importantes assises d'âge crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées des marnes et des calcaires ;
- ✓ divers recouvrements continentaux représentés par des alluvions actuelles et récentes, des grès, des sables et de graviers, représentant le Mio-Plio-Quaternaire.

### 3- APERCU CLIMATOLOGIQUE :

La plaine de Meskiana caractérisée par un climat semi-aride où les précipitations moyennes interannuelles enregistrées ne dépassent pas 340 mm, accompagnées d'une évapotranspiration réelle de l'ordre de 315 mm. Celle-ci conduira à des eaux concentrées en sels (LACHARME, 2001).

### 4- APERCU ECONOMIQUE:

La plaine de Meskiana appartient à un domaine sub-saharien, d'un climat semi-aride à faibles précipitations et par conséquent le développement du couvert végétal est limité. Les agglomérations n'ont été dotées d'aucune infrastructure industrielle, à l'exception d'une usine de laines et textiles actuellement à l'arrêt, alors que l'agriculture et l'élevage se sont bien développés. En effet, cette région appartient, agro-écologiquement, aux hautes plaines intérieures orientales céréalières, qui ont des microclimats généralement contraignants (hiver froid à très froid, été chaud à très chaud et sec). La pluviosité est généralement limitée et l'eau constitue l'élément clé du système de culture mis en place. Durant les années pluvieuses où l'eau d'irrigation est disponible, on rencontre les cultures maraîchères, les cultures fourragères et les céréales avec un assolement biennal et parfois triennal, alors que durant les années de sécheresse, les cultures maraîchères et fourragères seront réduites et on se contente des céréales pour seulement équilibrer les revenus des agriculteurs. Ces dernières années, le secteur de l'agriculture et de l'élevage a connu un épanouissement important suite au lancement des programmes de PNDA en 2000 et celui du FNRDA en 2001. Ces programmes ont provoqué l'extension des terres irriguées et multiplié les cycles cultureux.

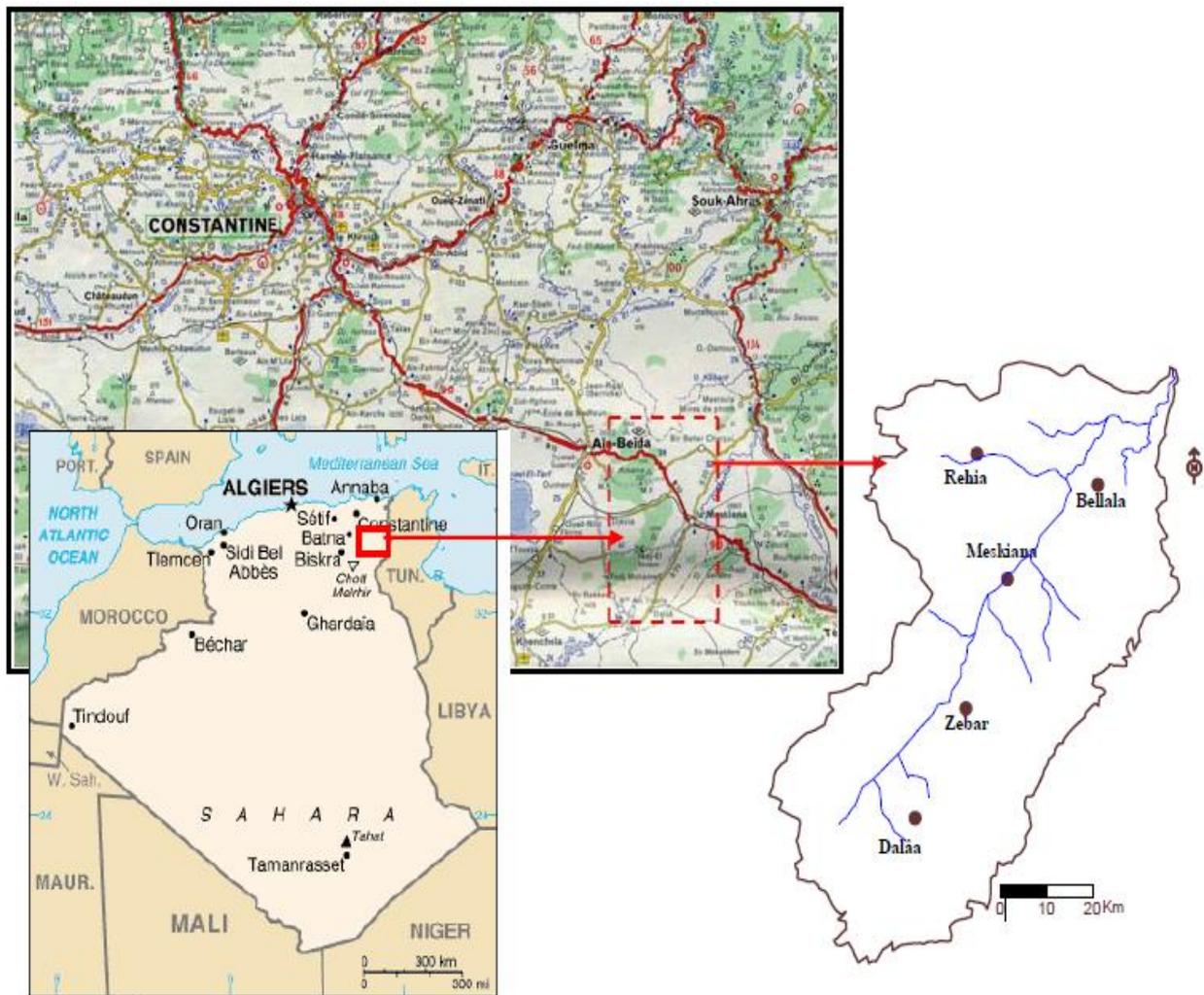


Figure 01 : Situation Géographique de la Plaine de Meskiana ( Rahal Omar ;2014)

## I. CADRE GEOLOGIQUE :

### I.1 INTRODUCTION :

La géologie du bassin de Meskiana a été étudiée par de nombreux géologues chercheurs tels que : M.G.BETIER et al. (1951), qui ont réalisé la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000, J.M. VILA (1977) qui a réalisé la carte de Dalâa, la carte de F'Kirina, la carte d'Ain Beida au 1/50000, D. KUSCER et al. (1985), qui ont réalisé la carte de Meskiana au 1/50000 et S.DOZET (1985), qui a réalisé la carte d'El Aouinet au 1/50000. La zone Nord-Est, qui fait partie de la carte de Youks-Les Bains, a été cartographiée par W.M. KOWALSKI (2002).

Ces travaux sur le bassin de Meskiana ont montré qu'il s'agit des terrains sédimentaires autochtones Nord-Aurésiens (J.M. VILA, 1980) qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Ces formations sont constituées de :

- Terrains anciens représentés par le Trias à faciès lagunaire, apparaissant en diapirs ;
- Très importantes assises d'âge crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées de marnes et de calcaires ;
- Des grès et des calcaires gréseux marins formant la base du Miocène ;
- Divers recouvrements continentaux représentant le Mio-Plio-Quaternaire.

### I.2 DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES FORMATIONS :

Deux grands ensembles représentent la litho stratigraphie du bassin de Meskiana

-Le premier est constitué essentiellement par les formations crétacées et tertiaires qui affleurent dans les bordures ;

-Le second est formé, en général, par un recouvrement Mio-Plio-Quaternaire qui se dépose dans la plaine (figure 02).

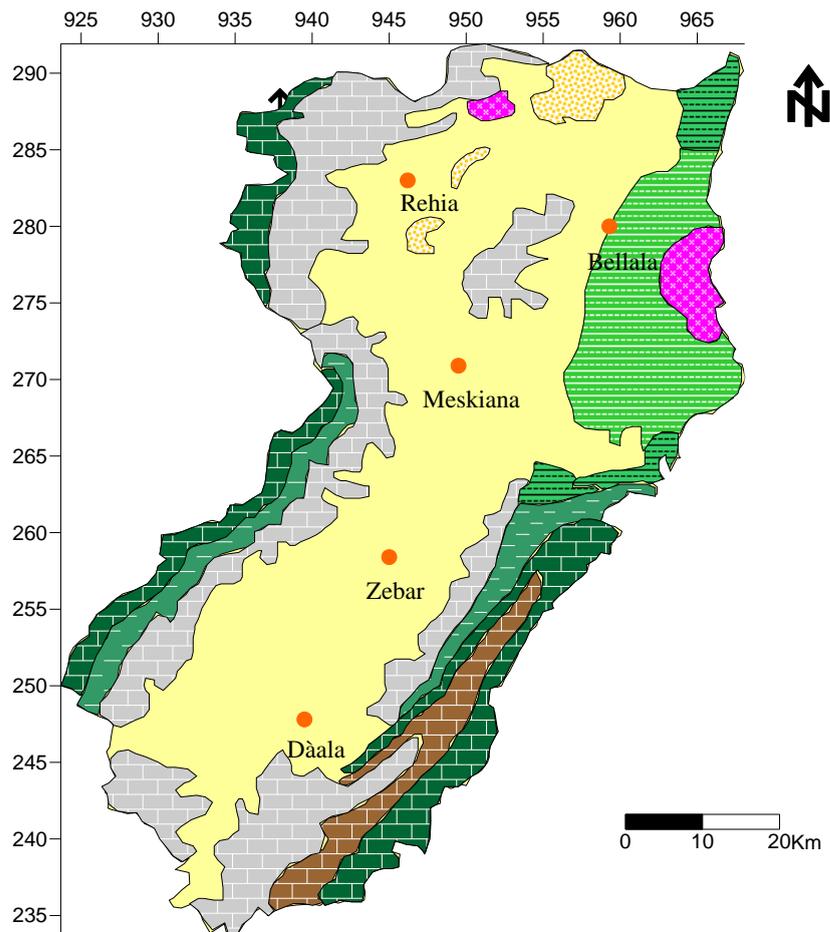
Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique complète que nous allons décrire ci- après:

#### I.2.1 TRIAS :

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (J.M. VILA, 1977).marquant ainsi le Trias du constantinois. Ces roches

triasiques forment des diapirs, qui sont partout en contact anormal avec les couches plus récentes. :

- Au Nord, à proximité d'El Aouinet.
- Au Nord-Est (Djebel Belkefif).



Manque le réseau hydrographique et le Q (alluvions actuelles)

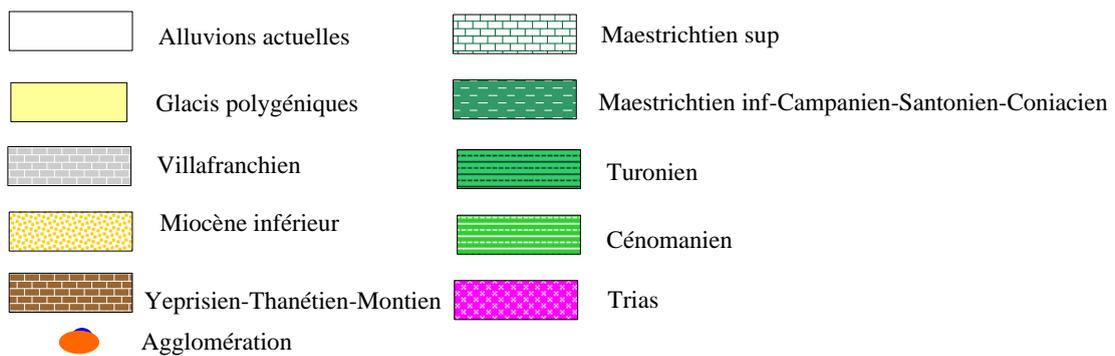


Figure I.2: Carte géologique schématique du bassin de l'Oued Meskiana (Gouaidia, 2008)

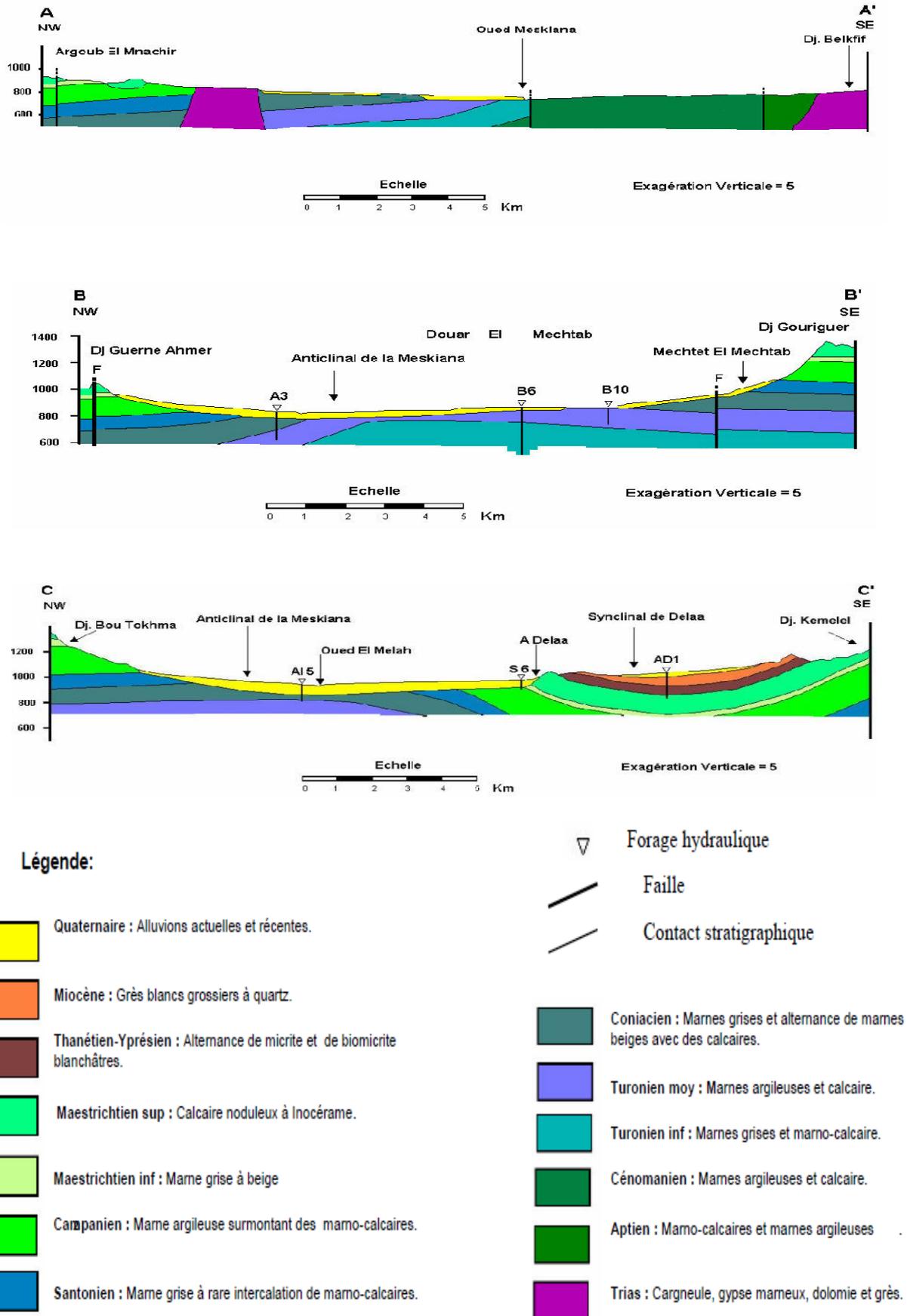


Figure I.3: Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana (Gouaidia,2008).

## I.2.2 CRETACE :

### a) Aptien :

Il s'agit de formations de dimensions assez réduites affleurant au Nord, qui sont en contact anormal avec des pointements triasiques, au niveau de Mesloula, Djebel Belkefif, ArgoubEzZitoun et Kodiat El Hadjel.

Les formations aptiennes comprennent deux faciès, le premier marno-calcaro-gréseux et le second à calcaires récifaux (DOZET, 1985).

### b) Albien et Cénomaniens inférieurs :

Ces formations sont observées au Djebel Belkefif et à Mesloula avec des épaisseurs très réduites, n'excédant pas 100 m.

### c) Cénomaniens moyens et supérieurs :

Cet étage se présente à la limite Nord-Est de la plaine (région de Bellala), sous forme d'une série très puissante dont l'épaisseur varie de 600 m à 1000 m.

### d) Turonien :

Il est observé au Nord-Est à Douar El Machtab et il est représenté par :

- Turonien basal
- Turonien moyen et supérieur

### e) Emschérien (Coniacien – Santonien) :

Le long des bordures Est et Ouest, l'Emschérien se présente par :

- Le Coniacien est formé par des alternances de marnes beiges ou grises et des calcaires gris biodétritiques et grumeleux. L'épaisseur du Coniacien est de 90 m (figure 3, coupe CC').
- Le Santonien se compose de marnes grises et de calcaires marneux à inocérames, avec une épaisseur d'environ 100 m.

### f) Campanien :

Il affleure sur les deux bordures occidentales, à Djebel Bou Thokma, et orientale, à Djebel Gourigueur.

### g) Maestrichtien :

Les calcaires maestrichtiens forment les monts du Djebel Gourigueur, Djebel Bou Tokhma et Djebel GarneLahmar.

- ❖ Le Maestrichtien inférieur est marqué par une dominance marneuse. La série ne dépasse pas 40 m d'épaisseur.
- ❖ Le Maestrichtien supérieur est représenté par une formation calcaire

## I.2.3 PALEOGENE

### a. Paléocène :

Il est observé seulement à la limite orientale, entre Djebel Guerigueur et Djebel Serdies. Il est représenté par une série de 50 m de puissance.

**b. Eocène :**

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de Meskiana, notamment à Djebel Gourigueur et au synclinal de AinDalâa. Il est caractérisé par :

- ❖ des formations montiennes.
- ❖ des formations thanétio-yprésiennes

**I.2.4 NEOGENE :****✓ Miocène :**

Les affleurements du Miocène sont de dimensions réduites et se répartissent dans la partie Nord de la plaine surtout à Mesloula, Argoub El Manchar, Argoub EzZitoun, Kodiat El Agab, KodiatRehia et Kodiat Naga.

**I.2.5 QUATERNAIRE :****A. Villafranchien :**

L'aspect le plus fréquemment rencontré est celui des croûtes calcaires massives et blanches. Ces formations perchées par rapport aux surfaces précédentes sont faciles à repérer, probablement karstifiées ou dissoutes.

**B. Glacis polygéniques nappant les reliefs:**

Ces glacis s'étendent sur de grandes surfaces de la plaine en pente douce.

**C. Alluvions actuelles et récentes:**

Ces alluvions ont une extension limitée à la vallée de Meskiana.

Les différentes formations géologiques du bassin de Meskiana se résument dans la figure 04.

**I.3 Géologie aquifère :**

L'examen de la série lithostratigraphique décrite plus haut permet d'identifier Quelques formations perméables susceptibles d'être aquifères

On peut citer :

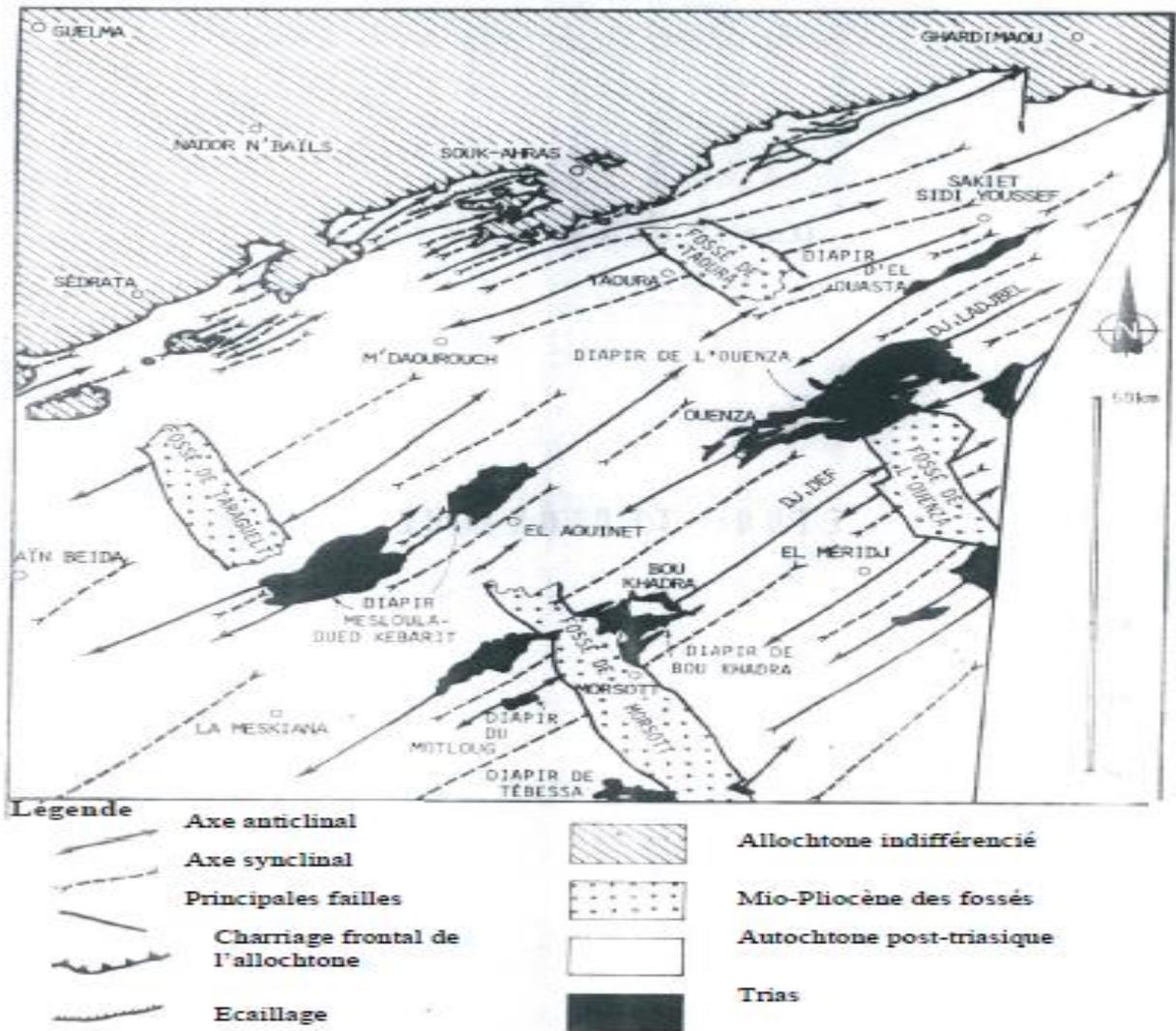
- ❖ Les calcaires turoniens ;
- ❖ Les calcaires du Maestrichtien supérieur ;
- ❖ Les calcaires de l'Eocène, qui constituent le synclinal perché de Zoui- Ain Dalâa ;
- ❖ les formations plio-quaternaires qui sont très perméables et se rapprochent progressivement de la surface du sol du Sud-Ouest au Nord-Est, suite à la remontée du substratum.

|             | Etage                     | Epaisseur (m) | Lithostratigraphie | Lithologie  |
|-------------|---------------------------|---------------|--------------------|---|
| QUATERNAIRE | Quaternaire               | ?             |                    | Limons gris et des graviers ;   |
|             |                           |               |                    | Croûtes rosâtres feuilletées ;<br>Croûtes calcaires blanches .  |
| NEOGENE     | Tortonien- Langhien       | 60            |                    | Gres blancs grossiers à quartz  |
| PALEOGENE   | Thanétien- Yprésien       | 200           |                    | Alternance de micrite décimétrique gris-blanchâtre et biomcrite décimétriques ou métriques blanchâtre.      |
|             | Montien                   | 70            |                    | Marnes grises verdâtres   |
| CRETACE     | Maestrichtien sup         | 150           |                    | Calcaires noduleux ocres avec quelques nodules de silex de couleur blanchâtre.                              |
|             | Maestrichtien inf         | 30            |                    | Marnes grs-beiges.  |
|             | Campanien                 | 230           |                    | Marnes noires<br>Marnes et micrites   |
|             | Santonien                 | 100           |                    | Marnes grises ou beiges à rares intercalations marno-calcaires.   |
|             | Coniacien                 | 150           |                    | Marnes grises et alternance de marnes beige et calcaire gris.   |
|             | Turonien moy et sup       | 150           |                    | Alternance de marnes grises à beige et calcaire zoogène noduleux.   |
|             | Turonien inf              | 200           |                    | Marnes grises ou noires avec une intercalation de marno-calcaire blanchâtre.                                |
|             | Cénomaniens sup et moy    | 800           |                    | Marnes argileuses à plaquette de calcite et rare intercalation de marnes, de marno-calcaire et de calcaire. |
|             | Albien et Cénomaniens inf | 55            |                    | Calcaires et marnes argileuses noires   |
|             | Aptien                    | 10            |                    | Marnes grises, biomcrite et dolomie.  |
| TRIAS       | Trias                     | ?             |                    | Cargneule jaunâtre, dolomie noire, grès, gypse mameux et gypse fibreux.                                     |

Figure I.4: Schéma lithostratigraphique des formations géologiques du bassin de Meskiana . (Ghouaidia ;2008.)

**I.4 APERÇU TECTONIQUE :**

La plaine de Meskiana appartient à l'Atlas saharien (J.M. VILA, 1980). Elle est caractérisée par des éléments tectoniques simples, tels que les plis de direction NE-SW et les dislocations qui ont souvent un cours transversal à la direction de ces plis. On rencontre également des structures particulières, qui se sont survenues sous l'influence de la tectonique diapirique. La période crétacée a été, du point de vue tectonique, assez calme (DOZET, 1985). Des grandes activités qui se sont déroulées durant cette période, on cite une subsidence continue au Sud du bassin et les soulèvements relatifs de quelques parties septentrionales de ce dernier (figure 04)



**Figure I.5 : Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980).**

Entre le Crétacé et le Miocène, deux principales phases tectoniques ont eu lieu pour former de nombreuses structures. Durant la première phase, de vastes plissements se sont produits en donnant naissance aux anticlinaux et synclinaux suivants : les plis de l'Oued Smara, El Houd, le synclinal de Djebel Belkefif, le synclinal de KodiatZennbaï, le synclinal de Reguibet El Assel, le synclinal de Djebel Gourigueur et l'anticlinal de Kessar El Tir. La

phase des plissements fut suivie de la phase de la tectonique cassante où de nombreuses fortes failles et dislocations longitudinales et transversales sont survenues, telles que celle de Djebel Gourigueur Ain Dalâa, dont le rôle du point de vue hydrogéologique semble très important. Le fossé tectonique de Morsott est d'âge post-Miocène, il a un cours perpendiculaire à la direction des plis.

Les diapirs forment les noyaux des anticlinaux et peuvent également remplir les fractures les plus importantes. Ils ont été en action au Crétacé, au Miocène, au Pliocène et probablement au Quaternaire ancien.

### **I.5 CONCLUSION :**

L'étude géologique du bassin de Meskiana nous a permis de dégager les constatations suivantes :

- La région fait partie de l'Atlas Saharien et se localise dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Elle est constituée de deux grands ensembles
- Les affleurements de bordure d'âge Crétacé ;
- Les formations d'âge Plio-Quaternaire qui se répartissent en totalité dans la plaine.
- Les activités tectoniques ont produit des plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction orthogonale affectant les formations crétacées.
- Du point de vue hydrogéologique, les calcaires d'âge Crétacé bordant la plaine, pourraient jouer le rôle d'importants aquifères d'eau. Les fractures pourraient constituer au sein de ces assises des réseaux prêts à emmagasiner ou faire circuler d'importantes quantités d'eau. Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable, que ce soit au niveau des bordures ou au centre de la plaine.

A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.

A partir de la lithologie des formations géologiques, on peut avoir une idée sur la minéralisation des eaux souterraines. Ainsi,

- Les calcaires donnent un faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique.
- Les marnes sont à l'origine des faciès sulfatés .
- Les alluvions donnent plusieurs faciès non salés.

On note que la présence du Trias peut provoquer la salure des eaux souterraines.

**II.1 Introduction:**

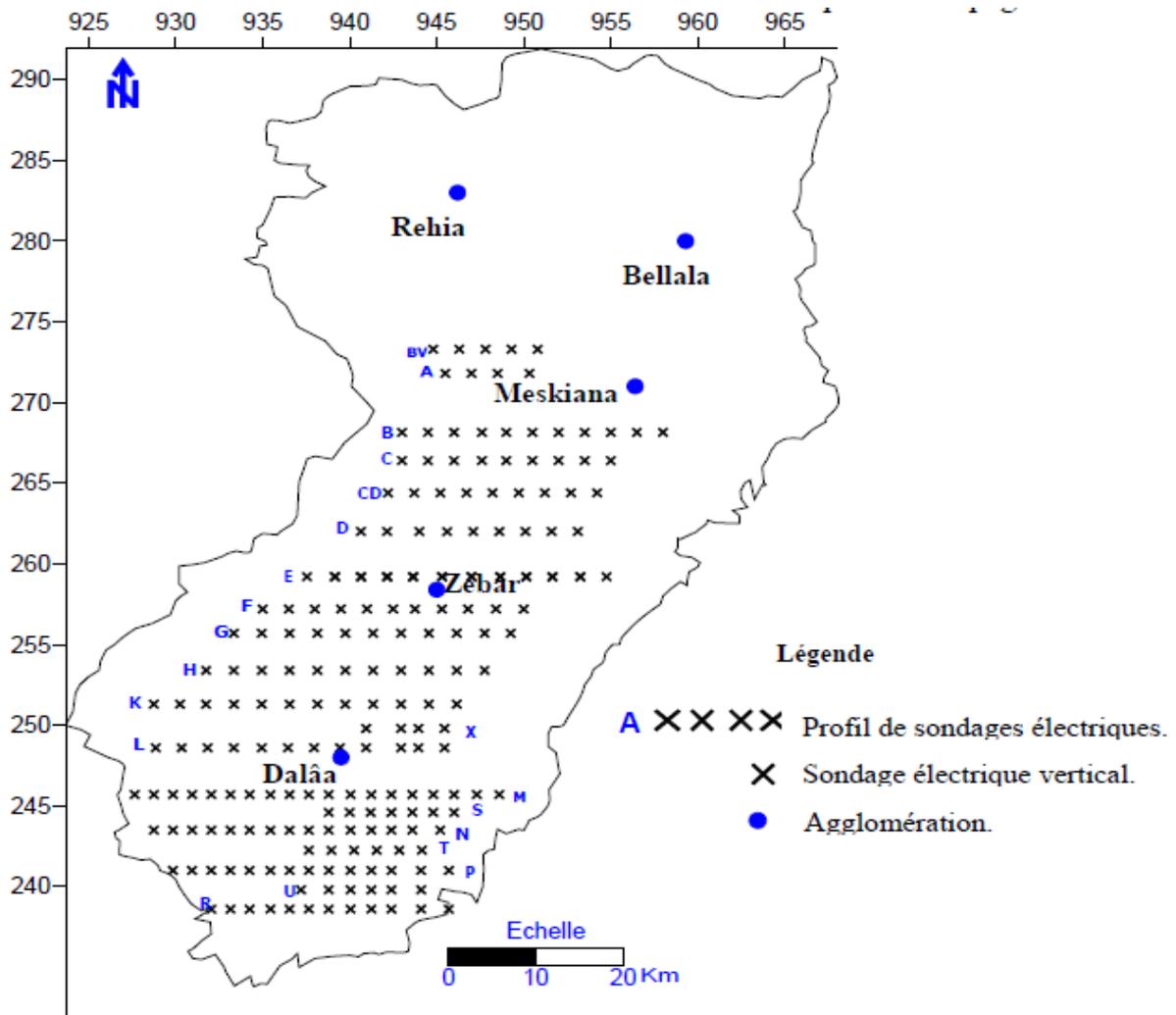
L'exploration et l'exploitation des couches aquifères d'une formation géologique donnée sont étroitement liées à la connaissance de la nature lithologique de cette formation.

L'identification de la géométrie de ces couches aquifères nécessite des moyens de reconnaissance, tels que la prospection électrique et les forages mécaniques à titre d'exemple.

L'utilisation de ces moyens de reconnaissance va permettre la connaissance des dimensions de ces aquifères, et par conséquent aider à la bonne gestion de ces ressources hydriques.

**II.2 Prospection électrique**

Une campagne de prospection électrique, couvrant une grande partie de la plaine de Meskiana, a été réalisée par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) en 1974, au profil de Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Constantine. Une deuxième campagne a été effectuée en 1980 au Sud de Ain Dalâa et elle a été réalisée par la Compagnie ALGEO figure 05.



**Figure II.6: Carte de position des sondages électriques verticaux et des profils (Gouaidia, 2008)**

### II.2.1 Interprétations des résultats de la prospection électrique

Ces deux campagnes géoélectriques, basées sur 25 profils de différentes longueurs AB (4000 m, 3000 m, 2000 m, 600 m et 100 m), visaient à atteindre les objectifs suivants :

- Reconnaître la profondeur d'un éventuel substratum calcaire résistant du Crétacé inférieur sous le recouvrement marneux et marno-calcaire du Cénomaniens ;
- Identifier la géométrie du remplissage alluvial et déterminer les zones de meilleures transmissivités dans ce dernier ;
- Reconnaître l'allure de l'anticlinal crétacé de Meskiana et celle du synclinal éocène perché de Dalâa.

### II.2.2 Apport de la prospection électrique :

La confrontation des données résultant de la prospection électrique et celles présentées par les forages mécaniques a permis d'identifier le remplissage alluvial de la plaine de Meskiana. Ce dernier se caractérise par :

- Des épaisseurs variables, allant de 5 m en bordures à 155 m au centre de la plaine ;
- Des résistivités variables de 3 à 150  $\Omega.m$  ;
- Une lithologie très hétérogène.

Les coupes géoélectriques ont permis d'identifier deux niveaux résistants, dont la résistivité varie de 30 à 100  $\Omega.m$  et ayant une épaisseur de 5 à 40 m.

On note que le premier niveau se présente avec une certaine discontinuité, probablement due à l'érosion.

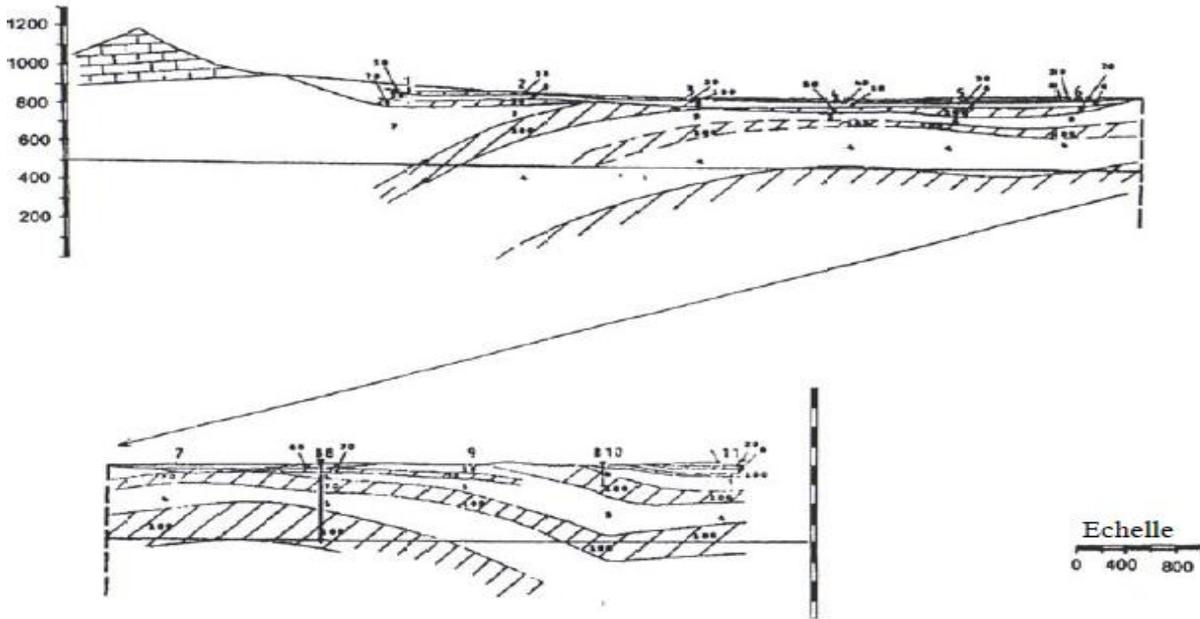


Figure II.7a : Coupe géo électrique du profil B(CGG in Gouaidia,2008)

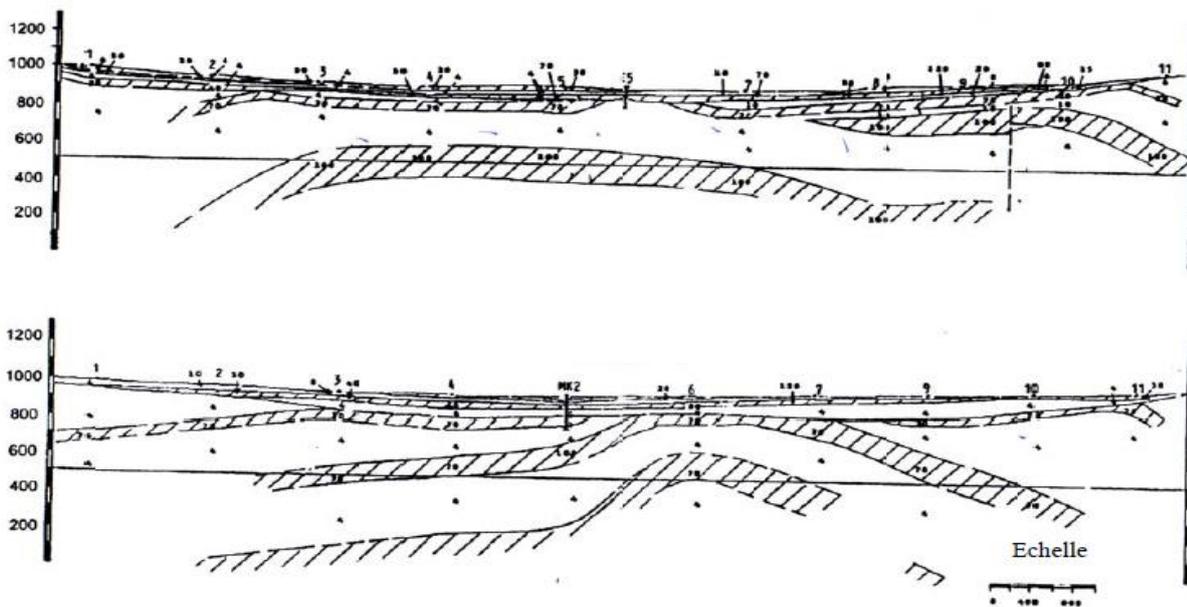


Figure II.7b : Coupes géo électriques des profils E et H (CGG in Gouaidia, 2008)

Légende



- 1 Sondages électriques
- 2 Formation conductrice
- 3 Formation résistante
- 4 Forage hydraulique

Tableau II.1 Caractéristiques hydrogéologiques et géophysiques des formations (Gouaidia,2008)

| Formation                     | Age                     | Epaisseur (m) | Résistivité ( $\Omega$ m) | Intérêt hydrogéologique |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|-------------------------|
| Sables graviers et cailloutis | Pio -Qauternaire        | 5-145         | 30-150                    | Perméable               |
| Limons et argiles             | Pio-Qauternaire         | 5-30          | 3 - 5                     | Imperméable             |
| Calcaires                     | Eocène                  | 100           | 70 - 300                  | Perméable               |
| Marnes                        | Montien                 | 70            | 2 - 5                     | Imperméable             |
| Calcaires                     | Maestrichtien Sup       | 460           | 70 -300                   | perméable               |
| Marnes                        | Maestrichtien inférieur | 40- 50        | 5 - 20                    | Imperméable             |
| Marnes                        | Campanien               | 200           | 2 - 5                     | Imperméable             |
| Marnes                        | Emchérien               | 90 - 100      | 2 - 5                     | Imperméable             |
| Calcaires                     | Turonien                | 200 - 270     | 70 - 300                  | Perméable               |
| Marnes argileuses             | Cénomanién              | 600 - 1000    | 2 - 5                     | Imperméable             |

### II.3 CONCLUSION :

Les résultats de la prospection électrique et les informations tirées à partir des forages mécaniques ont permis d'aboutir aux constatations suivantes :

- les dépôts du remplissage Mio-Plio-Quaternaire sont très hétérogènes. Ils sont représentés d'une part par des couches conductrices constituées par des marnes et des argiles, et d'autre part par des couches résistantes formées de sables, de graviers, de galets et de cailloutis. Ces dernières couches constituent la nappe phréatique du remplissage alluvial de la plaine de Meskiana.
- une structure anticlinale se manifeste au niveau de la zone de Meskiana. Elle est constituée par des formations marneuses et marno-calcaires attribués au Cénomaniens jusqu'au Campanien. Le coeur de cet anticlinal est d'âge Turonien.
- une structure synclinale, qui se manifeste au niveau de la zone de Dalâa, est constituée par des formations résistantes de calcaires et de calcaire marneux du Maestrichtien et de l'Eocène. L'épaisseur de ces formations est importante et peut atteindre 155 m. On pense que ces formations constituent de bons réservoirs aquifères.

**III.1 INTRODUCTION :**

La nappe de Meskiana est influencée par son climat qui est semi- aride. Cette étude hydroclimatologique a pour but la connaissance de l'alimentation des réservoirs hydriques souterrains, qui est indispensable pour évaluer les différents paramètres du bilan hydrique (précipitation, les pertes de la nappe par évaporation et évapotranspiration).

**III.2 CLIMATOLOGIE :**

La station météorologique de la Meskiana gérée par l'office national de la météorologie, et dont la période d'observation va de 1987 à 2002 pour la station de Meskiana, a servi pour l'évaluation des facteurs du bilan.

Cette station est située selon les coordonnées suivantes :

**Tableau III.1 : Les coordonnées de station météorologique:**

| station  | coordonnée Lambert |     | altitude | période d'observation |
|----------|--------------------|-----|----------|-----------------------|
|          | X                  | Y   |          |                       |
| MESKIANA | 949,7              | 271 | 860      | 1987-2002             |

**III.3 Méthode des rapports :**

Cette méthode utilise le rapport entre les moyennes de précipitations de deux séries concomitantes comme facteur multiplicateur de la série disponible qu'on veut corriger. Dans notre cas, on a pris la station de Tébessa comme station de référence. Celle-ci est distante de 50 km à l'Est de la station de Meskiana et se situe dans le bassin versant de l'Oued Mellègue. Si l'on désigne par Y les précipitations moyennes mensuelles à la station à ajuster (Meskiana) et X la valeur correspondante à la station de comparaison (Tébessa).

$$Y = b.X \rightarrow X = b.Y(1)$$

**b** : Constante d'ajustement estimée par l'équation suivante:

$$b = V/U$$

**V** : Moyenne des précipitations mensuelles de la station de comparaison (Tébessa) pour la période (1972/1973 – 1982/1983),

**U** : Moyenne des précipitations mensuelles de la station à ajuster (Meskiana) pour la période (1972/1973 – 1982/1983), où elle possède une série complète et un écart type relativement faible.

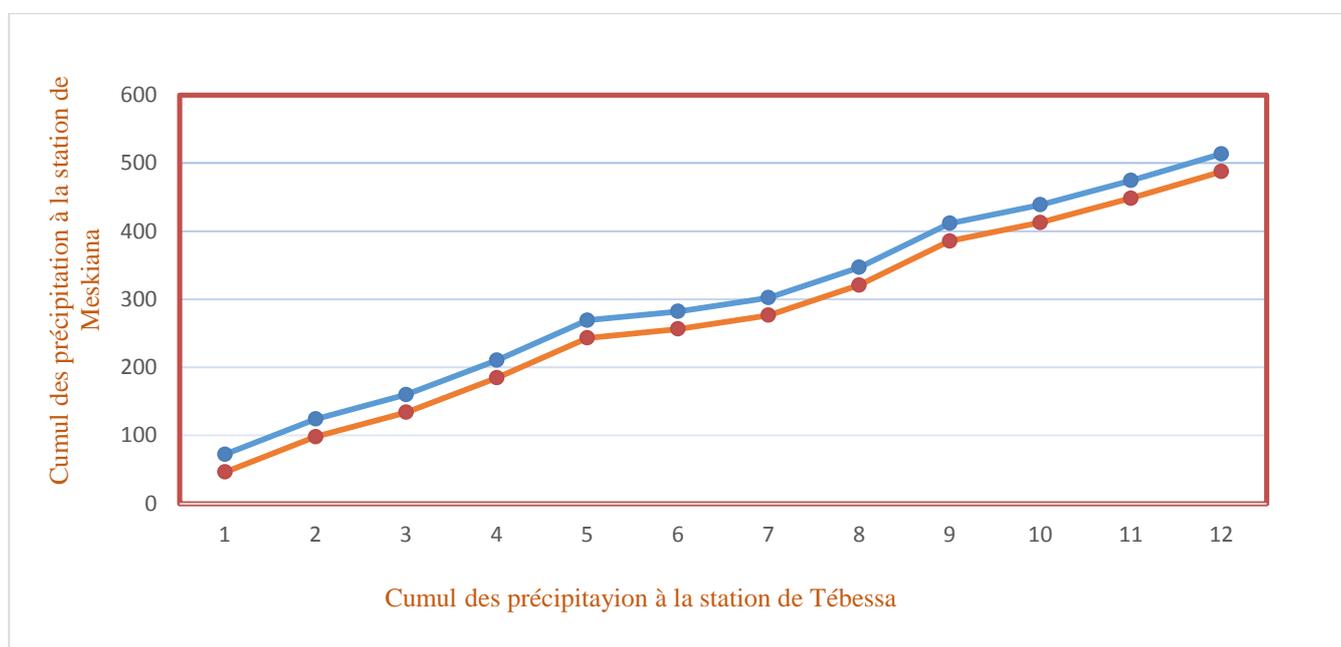
La procédure consiste à estimer le rapport b à partir des données homogènes d'une même période, puis à appliquer l'équation (1) à la période à vérifier (1987-2002)

L'estimation du coefficient de correction est consignée dans le tableau (02)

**Tableau III.2: Estimation du coefficient mensuel de correction des précipitations.**

|           | Sept   | Oct    | Nov    | Déc    | Jan    | Fév    | Mar    | Avr    | Mai   | Juin   | Juil   | Aout   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| V<br>(mm) | 46,44  | 38,64  | 33,75  | 33,49  | 32,94  | 22,28  | 31,75  | 37,68  | 47,36 | 26,15  | 15,94  | 28,56  |
| U<br>(mm) | 29,79  | 28,84  | 31,74  | 22,18  | 18,48  | 38,04  | 50,01  | 31,98  | 34,61 | 25,22  | 7,125  | 20,8   |
| B         | 1,5589 | 1,3398 | 1,0633 | 1,5099 | 1,7825 | 0,5857 | 0,6349 | 1,1782 | 1,368 | 1,0369 | 2,2372 | 1,3731 |

Afin de vérifier la correction apportée à la série de la station de Meskiana, on a appliqué la loi de double cumul qui montre l’homogénéité de la dite série, en se référant à celle de Tébessa (figure 08).



**Figure III. 8: Application de la loi de double cumul après correction des erreurs.**

Cette confirmation par Mr Gouaidia nous a permis d’ utiliser les données de la station météorologique de Tébessa dont les coordonnées figurent dans le tableau suivant.

**Tableau III 3 : Les coordonnées Lambert de la station de mesure de Tébessa (météo de Tébessa).**

| Station | Altitude | X Km  | Y Km  | Période d’observation |
|---------|----------|-------|-------|-----------------------|
| Tébessa | 890      | 991.9 | 247.2 | 1997/1998-2017-2018   |

**III.4 Indice de De Martonne:**

Cet indice est fonction des températures et des précipitations (2017/2018) ; il est calculé par

la relation Suivante : 
$$I = \frac{P}{T+10} \quad (2)$$

**I** : indice d'aridité

**P** : précipitations moyennes annuelles en mm.

**T** : températures moyennes annuelles en °C

Application :

**P** = 390.14 mm

**T** = 27.88°C

Ce qui donne **I = 17.69**

Suivant les valeurs de (I), **De Martonne** a établi la classification suivante :

$I < 5$  : climat hyperaride

$5 < I < 7,5$  : climat désertique

$7,5 < I < 10$  : climat steppique

$10 < I < 20$  : climat semi-aride

20  $I < 30$  : climat tempéré.

La station de Meskiana est caractérisée par un climat semi-aride.

**III.5 Indice d'aridité mensuel:**

L'indice d'aridité mensuel est défini par la relation suivante :

$$I = \frac{12.P}{T+10} \quad (3)$$

**I** : Indice d'aridité mensuel

**P** : Précipitations moyennes mensuelles en mm

**T°** : Température moyenne mensuelle en °C.

L'application de la formule (3) a permis de dresser le tableau

Tableau III.4: Indices d'aridité mensuels (I) à la station de Meskiana.

| Mois      | I     | Etage bioclimatique |
|-----------|-------|---------------------|
| Septembre | 14,62 | semi- aride         |
| Octobre   | 13,89 | semi- aride         |
| Novembre  | 15,59 | semi- aride         |
| Décembre  | 19,63 | semi- aride         |
| Janvier   | 19,59 | semi- aride         |
| Février   | 13,07 | semi- aride         |
| Mars      | 15,16 | semi- aride         |
| Avril     | 15,45 | semi- aride         |
| Mai       | 16,33 | semi- aride         |
| Juin      | 7,61  | Steppique           |
| Juillet   | 4,23  | Hyperaride          |
| Aout      | 7,85  | Steppique           |

Selon la classification précédente par de **De Martonne**, les mois de septembre, octobre, novembre, décembre, janvier, février et avril et mai présentent un climat semi-aride. Les mois de a juin et aout sont caractérisés par un climat steppique, alors que le mois de juillet devient hyperaride.

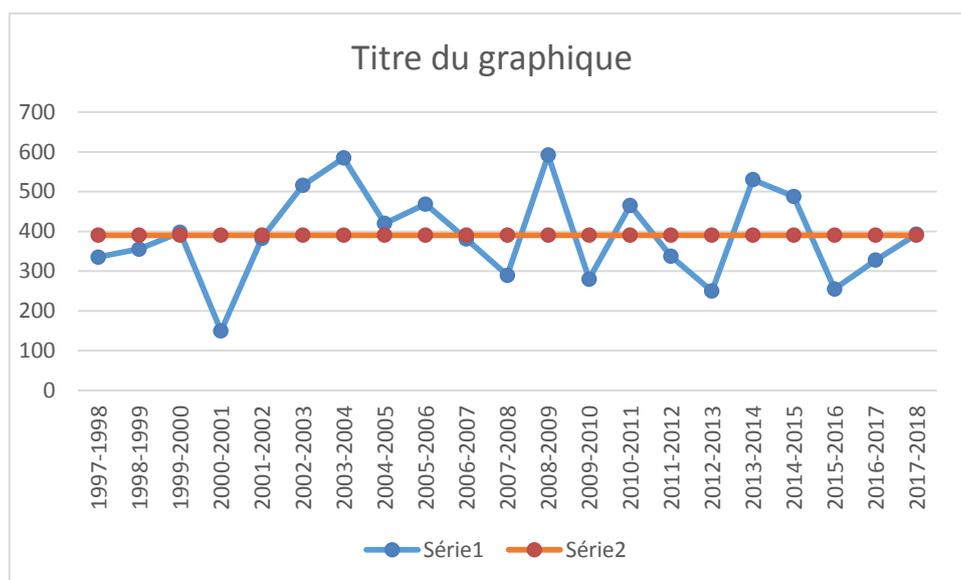
### III.6 ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUE

#### III.6.1 LA TEMPERATURE :

La température est un facteur très important, régissant le phénomène d'évapotranspiration et par la même le déficit d'écoulement annuelle et saisonnier. Les données sur la température dont on dispose sont des valeurs moyennes mensuelles et annuelles mesurées à la station (Meskiana). (Hamad Omar, Yousfi Rabiaa ,2004).

##### III.6.1.1 Variations des températures moyennes annuelles :

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de 21 ans (97/98-2017/2018), montre que l'année la plus chaude est l'année 2015/2016 avec une moyenne de 30.05°C, et l'année la plus froide est l'année 2014/2015, avec une moyenne de 3.19°C

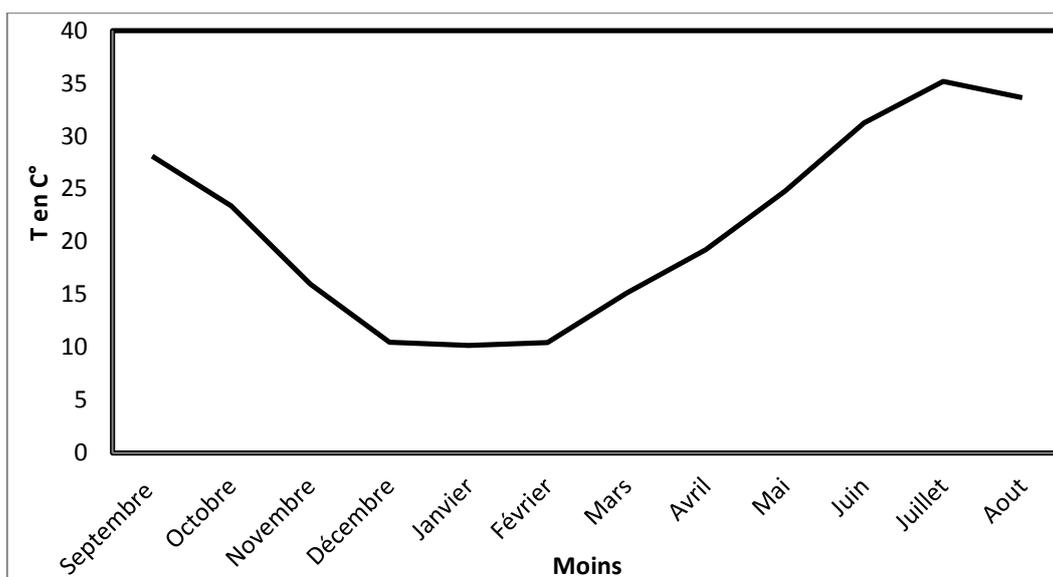


**Figure III.9 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).**

**III.6.1.2 Variations de la température moyenne mensuelle :**

L'analyse de la courbe de variation de la température moyenne mensuelle, sur une période de 33 ans (97/98-2017/20), montre que les valeurs les plus élevées sont observées pendant l'été (juin- septembre) avec des températures allant de 28.12à 35.19°C. Les valeurs les plus basses, qui varient de 10.17à 10.47°C, sont observées durant la période hivernale (décembre – mars), avec un minimum pendant le mois de janvier (10.17°C).

L'influence de la température sur la qualité chimique se fait sentir pendant la période d'été, où on a une concentration des éléments par évaporation



**Figure III.10 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Meskiana pour la période (1972/1973-2004/2005).**

### III .7 LA PLUVIOMETRIE :

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydro climatologique, car elle nous donne une description du régime pluviométrique d'une part et le régime d'écoulement d'autre part, elle nous renseigne également sur l'alimentation des eaux souterraines.

(Hamad Omar, Yousfi Rabiaa ,2004).

**Tableau III.5: Variation des précipitations au niveau de la station de Meskiana**

|                   | Sept                    | Oct   | Nov   | Déc                  | Jan   | Fév   | Mar                       | Avr   | Mai   | Juin                | Juil  | Aout  | total  |
|-------------------|-------------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|--------|
| <b>moyenne</b>    | 46,44                   | 38,64 | 33,75 | 33,49                | 32,94 | 22,28 | 31,75                     | 37,68 | 47,36 | 26,15               | 15,94 | 28,56 | 394,98 |
| <b>min</b>        | 3                       | 2     | 2     | 0                    | 0,7   | 2,3   | 4,5                       | 1     | 2,1   | 0                   | 0     | 2,4   |        |
| <b>Max</b>        | 51,3                    | 118,3 | 112,7 | 148,6                | 127   | 66,7  | 91,2                      | 144,1 | 199   | 88,8                | 60,5  | 93    |        |
| <b>Ecart type</b> | 11,29                   | 28,06 | 28,56 | 34,58                | 31,49 | 21,32 | 21,43                     | 35,8  | 41,49 | 25,82               | 16,59 | 24,41 |        |
| <b>saisons</b>    | <b>Automne</b><br>118,8 |       |       | <b>Hiver</b><br>88,7 |       |       | <b>Printemps</b><br>116,8 |       |       | <b>Eté</b><br>70,64 |       |       |        |

Les calculs statistiques montrent que la précipitation moyenne annuelle est de 395 mm. Ceci est vérifié en se référant à la carte des précipitations moyennes annuelles, établie par l'ANRH sur une période de 21ans. La précipitation maximale est enregistrée aux mois de décembre. La précipitation minimale est enregistrée aux mois de septembre. La saison printanière est la plus pluvieuse avec 116.8 mm suivie par la saison automnale avec une moyenne de 118.8 mm.

#### III .7.1 Diagramme ombrothermique :

Un mois sec se définit, selon (**Bagnouls et Gausse, 1953, 1957**) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ( $P \leq 2T^\circ$ ). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de **Gausse** (figure 12) permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de novembre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'octobre.

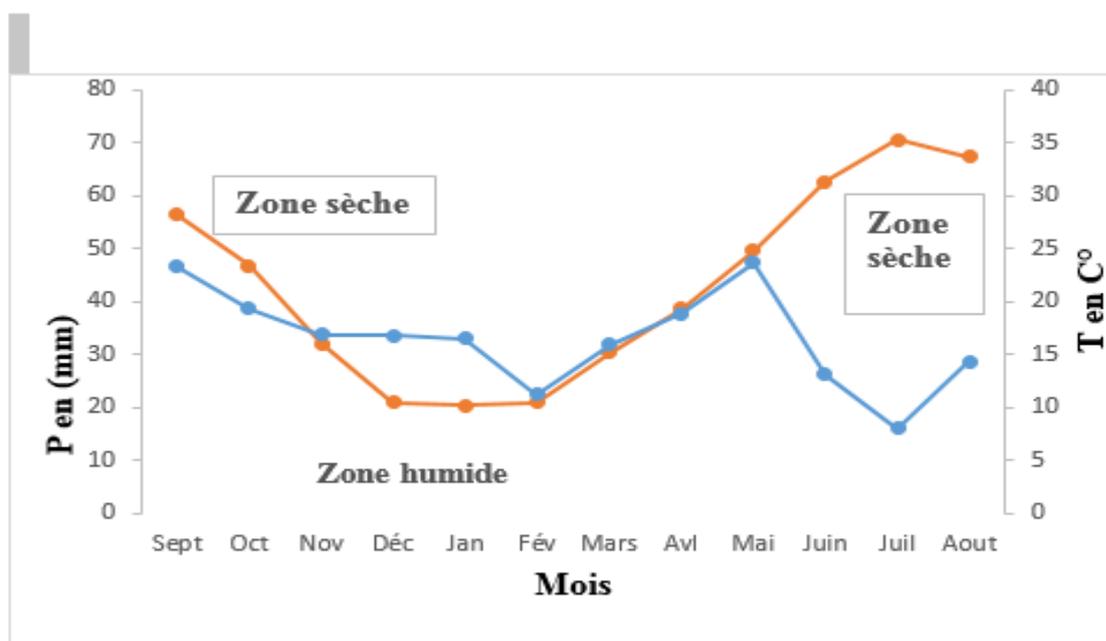


Figure III.11 : Courbe Ombrothermique de la station de Meskiana.

**III.7.2 Variations interannuelles des précipitations :**

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations, sur une Période de 21 ans (97/98-2017/2018), montre que l'année 2015/2016 est la plus pluvieuse avec 593.5 mm et l'année 1997/98 est la plus sèche avec 149.1 mm, Figure 12.

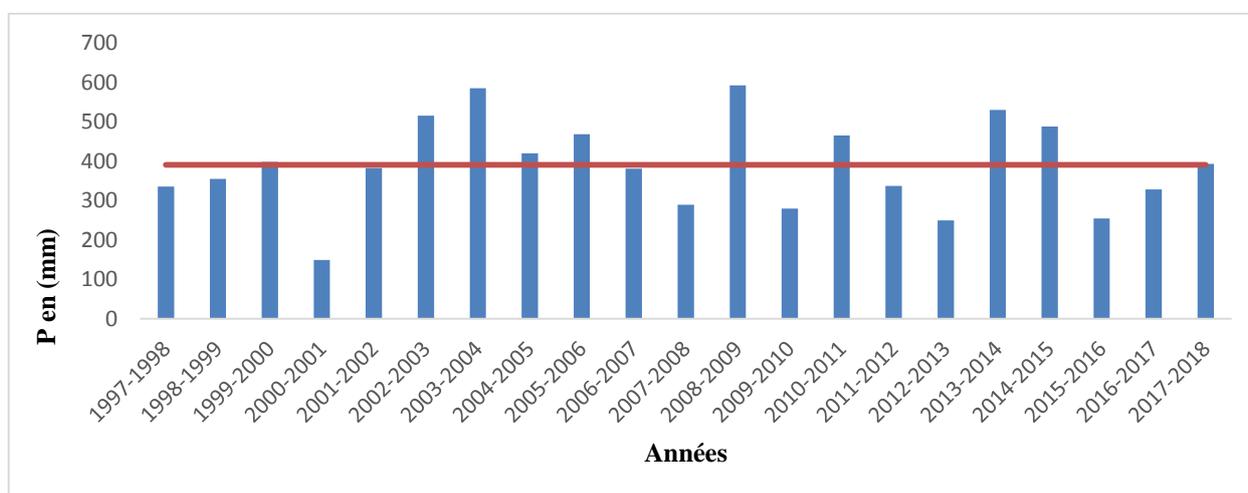


Figure III.12 : Evolution des précipitations annuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998 – 2017/2018).

**III.7.3 Variations moyennes mensuelles des précipitations :**

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 21 ans (97/98-2017/2018), montre que le mois de mai est le plus pluvieux, avec 47.36 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 15.94mm. Figure 13

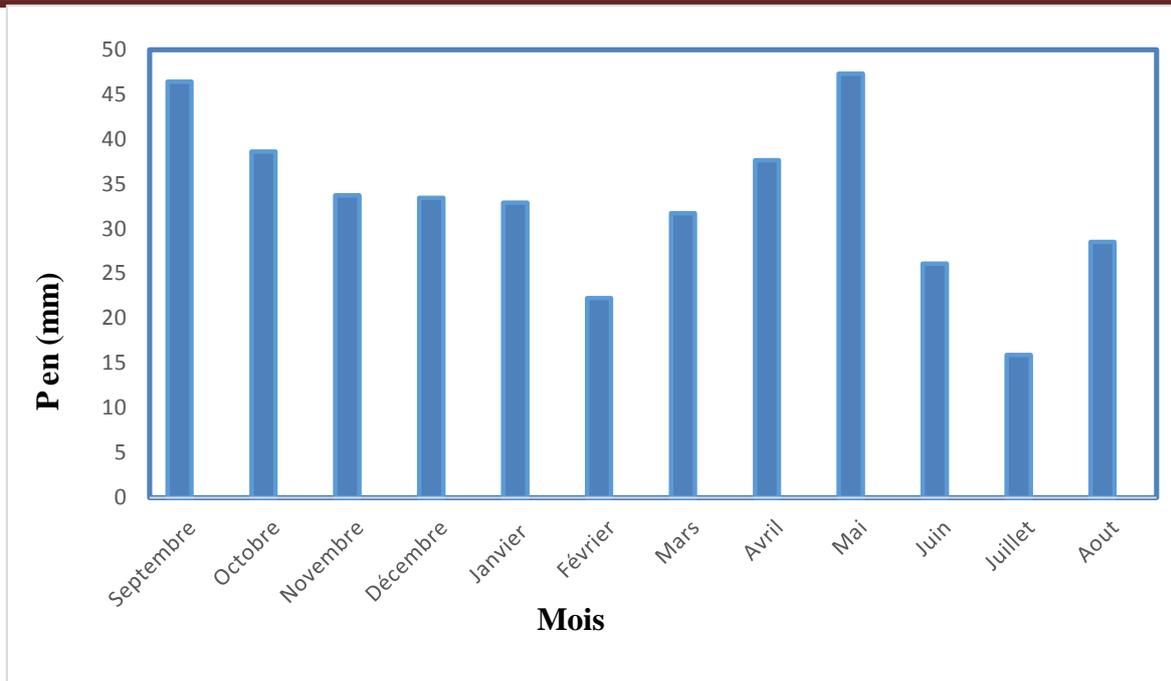


Figure III.13: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).

### III.8 Variation de précipitation :

#### III.8.1 ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION :

##### III.8.1.1 Introduction :

L'évapotranspiration peut être considérée comme étant la somme des eaux enternes :

- ✓ La transpiration végétale
- ✓ L'évaporation du sol

L'intensité de l'évapotranspiration est en fonction de la radiation solaire, la température, l'humidité relative de l'air, l'humidité du sol, le vent, et la couverture végétale.

L'évapotranspiration potentielle se définit, comme la quantité d'eau dépensée par le pouvoir évaporant de l'atmosphère (évaporation potentielle) et l'activité biologique (transpiration), soit au total par l'évapotranspiration potentielle. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique. La précision avec laquelle elle est estimée est essentielle pour le calcul du bilan d'eau, du calcul de l'irrigation, de la gestion des ressources hydriques et également pour le dimensionnement des ouvrages d'aménagement.

La méthode de G.W.Thornthwaite est utilisée pour l'estimation de l'ETP.

##### III.8. 1.2 Évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle c'est la quantité d'eau réellement évaporée. Elle représente la quantité de vapeur d'eau relativement dégagée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux.

Des méthodes peuvent être proposées :

- ❖ La méthode de Turc.
- ❖ La méthode de Thornthwaite.

❖ **Formule de TURC**

C'est la méthode la plus répandue, elle tient compte des précipitations et des températures Moyennes annuelles.

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L^2}}}$$

**ETR** : évapotranspiration réelles (mm).

**P** : précipitation moyenne annuelle (390.14 mm).

**L** :  $300 + 25T + 0.05T^3$  où

**T** est la température moyenne annuelle en C° (27,88).

**Application numérique :**

$$L = 2080.55$$

$$ETR = 402.40$$

**III.8.1.3 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :**

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques. Cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type de climat de la région.

❖ **Formule de THORNTHWAITE:**

L'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948 une expression pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle en tenant compte seulement de la température mensuelle. Le développement de cette expression donne la formule suivante :

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

**ETP** : évapotranspiration potentielle en (mm)

**T** : température moyenne du mois en (°C)

$$I = \sum i \text{ et } i = (t/5)^{1.514}$$

$$a = (1.6.I/100) + 0.5 \text{ (D'après Serra L. 1954)}$$

Les valeurs de l'ETP ne sont pas corrigées, donc il faut faire le coefficient de correction « **K** » qui dépend de la altitude, prend en considération la durée d'insolation thermique tirée d'un abaque, notre station se trouve à une altitude de **1063 m**.

$$ETP \text{ corrigé} = ETP \cdot K$$

Les résultats obtenus sont : **I=116,11**

Tableau III.6: Coefficient de correction K dépend du site considéré (climat semi aride)

| Moi | Sep  | Oct  | Nov  | Déc  | Jan  | Fév  | Mars | Avril | Mai   | Juin | Juil | Aout |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| K   | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,84 | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,09  | 21,21 | 1,21 | 1,23 | 1,16 |

Tableau III.7: Bilan hydrologique moyen (1971/1972-2004/2005) à la station de Meskiana, par la méthode de Thornthwaite.

|                | Spet   | Oct   | Nov   | Déc   | Jan   | Fév   | Mar   | Avl   | Mai    | Juin   | Juil   | Aout   | Total   |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| <b>P(mm)</b>   | 46,44  | 38,64 | 33,75 | 33,49 | 32,93 | 22,28 | 31,74 | 37,67 | 47,35  | 26,14  | 15,94  | 28,56  | 394,93  |
| <b>T(C°)</b>   | 28,11  | 23,38 | 15,97 | 10,47 | 10,17 | 10,45 | 15,13 | 19,26 | 24,79  | 31,25  | 35,19  | 33,62  | 257,79  |
| <b>I</b>       | 13,64  | 10,31 | 5,79  | 3,05  | 2,92  | 3,05  | 5,33  | 7,69  | 11,26  | 16,03  | 19,15  | 17,89  | 116,11  |
| <b>ETP(mm)</b> | 131,34 | 79,92 | 28,42 | 10,35 | 9,9   | 10,48 | 30,48 | 57,02 | 114,41 | 199,68 | 268,43 | 224,64 | 1165,07 |
| <b>P-ETP</b>   | -84,9  | 41,28 | 5,33  | 23,14 | 23,03 | 11,8  | 1,26  | 19,35 | -67,06 | 173,54 | 252,49 | 196,08 | -770,14 |
| <b>ETR(mm)</b> | 46,44  | 38,64 | 28,42 | 10,35 | 9,9   | 10,48 | 30,48 | 57,02 | 54     | 26,14  | 15,94  | 28,56  | 356,37  |
| <b>REU(mm)</b> | 0      | 0     | 5,33  | 26    | 26    | 26    | 26    | 6,65  | 0      | 0      | 0      | 0      | 115,98  |
| <b>EX(mm)</b>  | 0      | 0     | 0     | 2,47  | 23,03 | 11,8  | 1,26  | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 38,56   |
| <b>Da(mm)</b>  | 84,9   | 41,28 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 60,41  | 173,54 | 252,49 | 196,08 | 808,7   |

$$P = ETR + EX$$

$$P = 394,93$$

$$ETP = ETR + Da$$

$$ETP = 1165,07$$

➤ **Interprétation du bilan hydrique :**

- Le rapport  $\frac{ETR}{P}$   
= 0.90 mm

Alors 88% des précipitations seront évaporées

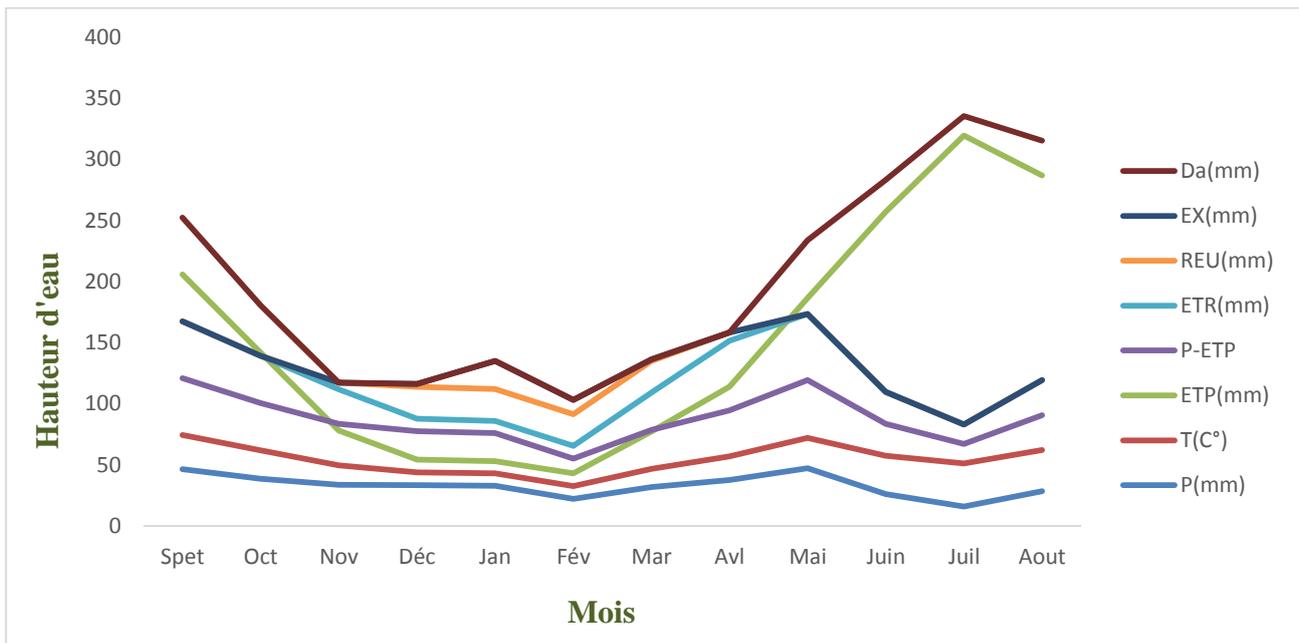
- Le rapport  $\frac{Da}{P}$   
= 2.05 mm

Alors le déficit agricole égal 62% des précipitations

- Le rapport  $\frac{ETR}{ETP}$   
= 0.31 mm

Alors les réserves d'eau insuffisante que 61% de la demande en eau (évapotranspiration potentielle)

- ❖ Les 4 mois sur 12 mois sont excédentaires
- ❖ Les 8 mois sur 12 sont déficitaires



**Figure III.14: Bilan hydrologique à la station de Meskiana, par la méthode de Thornthwaite pour la période (1997/1998 -2017/2018).**

L’observation du graphe du bilan hydrologique nous amène à dire que l’ETP est importante du mois de juillet jusqu’au mois de septembre, rendant ainsi nécessaire l’irrigation. A partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s’accompagne d’une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de juin et aout. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock. figure14.

➤ **Calcule du ruissellement :**

L’application de la formule de Tixeron-Berkaloff pour une année moyenne donne le Résultat suivant :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

**R** : Ruissellement (m).

**P** : Précipitations moyennes mensuelles (m).

**ETP** : Evapotranspiration potentielle (m).

L’application numérique donne

$$R = 15.13 \text{ mm}$$

**L’infiltration (I):**

$$P = ETR + R + I$$

$$I = P - (ETR + R)$$

$$I = 23.43 \text{ mm}$$

Il est à noter que cette valeur ne représente pas réellement l’infiltration dans tout le bassin, car son estimation est basée sur les données d’une seule station pluviométrique, qui est celle de Meskiana.

Les mesures d’infiltration in situ, réparties sur toute superficie de la plaine, pourrait nous donner une approche fiable de ce paramètre.

**Tableau III.8: Répartition des précipitations à la station de Meskiana**

| Précipitation |     | évapotranspiration réelle ETR |       | Ruissellement R |      | Infiltration I |      |
|---------------|-----|-------------------------------|-------|-----------------|------|----------------|------|
| (mm)          | (%) | (mm)                          | (%)   | (mm)            | (%)  | (mm)           | (%)  |
| 394.93        | 100 | 356.37                        | 90.24 | 15.13           | 3.83 | 23.43          | 5.93 |

### III.9 CONCLUSION :

La plaine de Meskiana possède un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs). La répartition des précipitations et des températures influe sur la chimie des eaux par dilution pendant la période pluvieuse, ou concentration lors de l’évaporation durant la période sèche.

La température moyenne annuelle qui y règne est de 20.28°C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 21 ans (1997/1998– 2017/2018), sont estimées à 395mm. L’évapotranspiration réelle est estimée à 356.37 mm, mobilisant 90.24% des précipitations. Le ruissellement ne représente que 3.83 % des précipitations, ce qui représente 15.13 mm. L’infiltration ne laisse percoler que 23.43 mm, ce qui ne représente que 5.93% des précipitations.

Ceci laisse penser que l’alimentation de la nappe ne se fait pas exclusivement à l’aide de l’infiltration efficace, mais aussi sur les calcaires fissurés qui bordent la nappe.

Le régime des écoulements de l’Oued Meskiana dépend de celui des précipitations.

## IV.1 INTRODUCTION :

L'hydrogéologie constitue un outil de base pour connaître les différents éléments qui nous permettent de définir les caractéristiques d'une nappe.

C'est dans ce contexte que nous avons essayé au niveau de ce chapitre d'identifier et de délimiter le système aquifère formé par le remplissage alluvial. Ensuite comprendre l'impact des variations climatiques, dans le temps, et la variation de la lithologie dans l'espace, sur le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale de Meskiana.

Nous commençons dans un premier stade à définir l'allure générale de l'écoulement de la nappe et de voir le mécanisme d'évolution du niveau piézométrique dans le temps et dans l'espace.

## IV.2 GEOMETRIE DE L'AQUIFERE :

L'interprétation des résultats de géophysique (CGG, 1974) a permis de visualiser la répartition du matériel du remplissage dans la nappe alluviale de Meskiana :

La zone de Dalâa est en réalité une dépression alluvionnaire, où l'épaisseur des alluvions peut atteindre 155 m. Dans la zone de Zebâr, qui se situe entre Dalâa et Meskiana, les dépôts du remplissage ne dépassent pas 100 m d'épaisseur.

Il faut signaler que ces alluvions reposent sur un substratum marneux qui remonte en surface au Nord de la plaine.

## IV.3 Etudes piézométriques :

### IV.3.1. Introduction :

La surface piézométrique des nappes est déterminée par les caractéristiques de leur écoulement que dans les conditions naturelles de gisement des eaux souterraines, dépendent de différents facteurs.

- les conditions géomorphologiques et structurales régionales qu'imposent.
- Le niveau et la pression piézométrique.
- Le type de nappe et son profil de dépression.
- Les caractéristiques de la couche aquifère : lithologie (perméabilité). Section et substratum.
- Les conditions d'alimentation et de drainage.

Les cartes en courbes isopièzes permettent donc :

- De calculer la profondeur de la surface piézométrique.
- De tracer les lignes de courant et de déterminer la direction de l'écoulement et les zones d'alimentations.
- De déterminer le gradient hydraulique.

## IV.4 Inventaire des points d'eau :

Dans la présente étude, seuls les ouvrages captant la nappe du remplissage alluvial nous ont intéressés, et plus de 180 puits et 17 forages ont été recensés. La plupart des puits, de faible profondeur mais de grand diamètre, ont été creusés mécaniquement, seuls quelques autres, situés à proximité des bordures, sont profonds.

On note que certains puits sont abandonnés et pourraient constituer des sources de pollution de la nappe. Deux forages sont également non exploités à cause de la forte salinité de leurs eaux.

Pour la réalisation de la cartographie piézométrique et hydrogéochimique, on a choisi un réseau représentatif de toute la nappe (figure 27), malheureusement, durant les campagnes piézométriques, quelques puits n'ont pas fait l'objet de relevés pour diverses raisons qui sont indépendantes de notre

volonté. Nous signalons que les mesures ont été faites en utilisant une sonde piézométrique de 100 m à double signalisation (sonore et lumineuse).

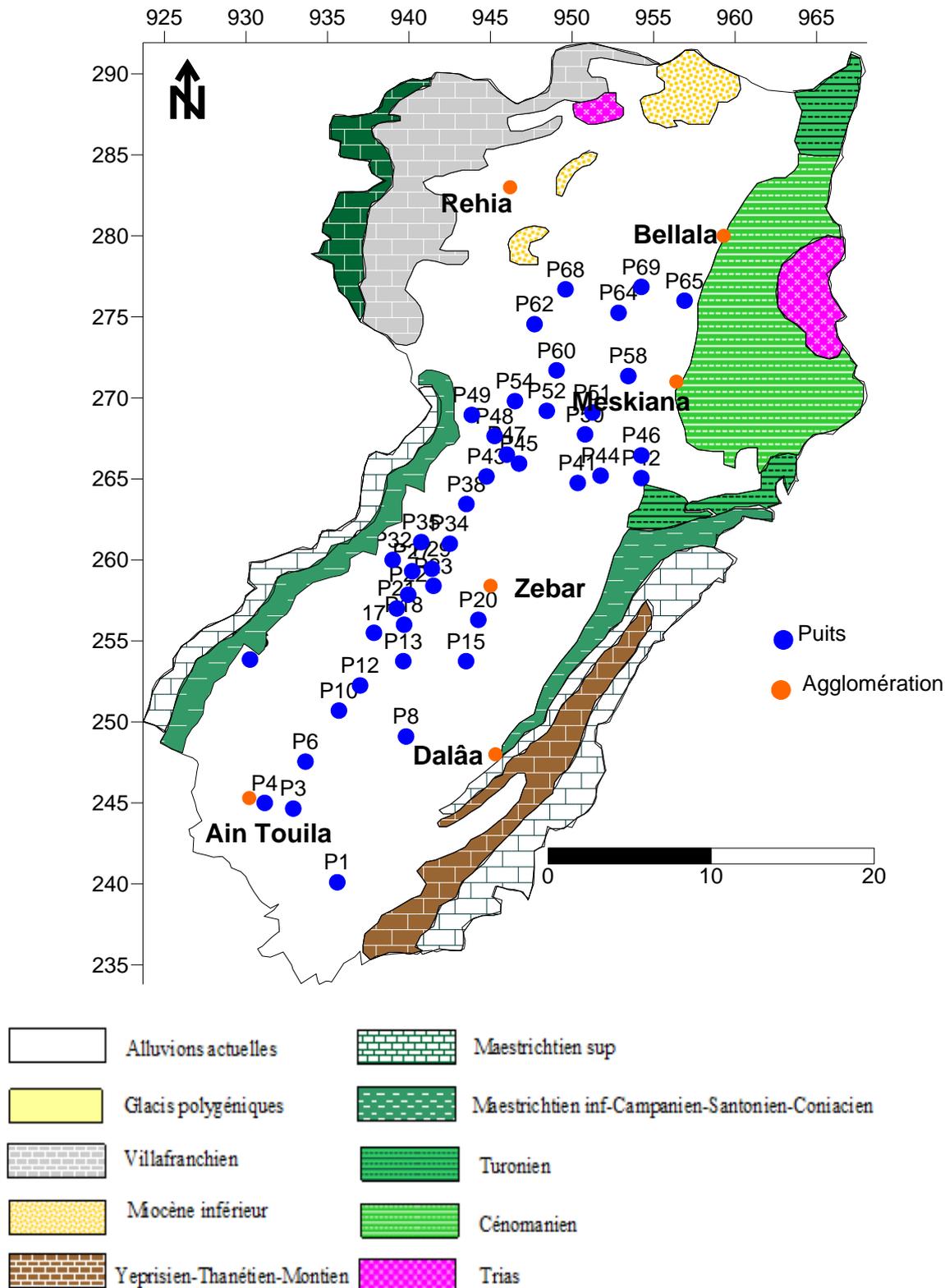


Figure IV.15 : Carte d'inventaire de la nappe de la plaine de Meskiana. mars 2016

### IV.5 Piézométrie :

Les cartes piézométriques, établies avec les données sur les niveaux piézométriques, représentent, à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques. Elles sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

### IV.6 Interprétation des cartes piézométrique :

L'observation de la carte montre une certaine irrégularité la morphologie des courbes isopiézes indique un écoulement de la direction prédominante SW-NE (presque parallèle à la direction de l'Oued).

Au Sud-Est (Ain Dalla), l'espacement des courbes presque régulier, avec un gradient hydraulique variant. La région centrale (Meskiana), est caractérisée par des courbes serrées de gradient hydraulique de l'ordre 0.007 qui indique un écoulement rapide, l'alimentation de cette zone se fait probablement par Dj.Gouriguer.

Au Nord, on remarque, une morphologie des courbes isopiezes plus ou moins espacées, qui indique un écoulement lent avec un gradient hydraulique variant

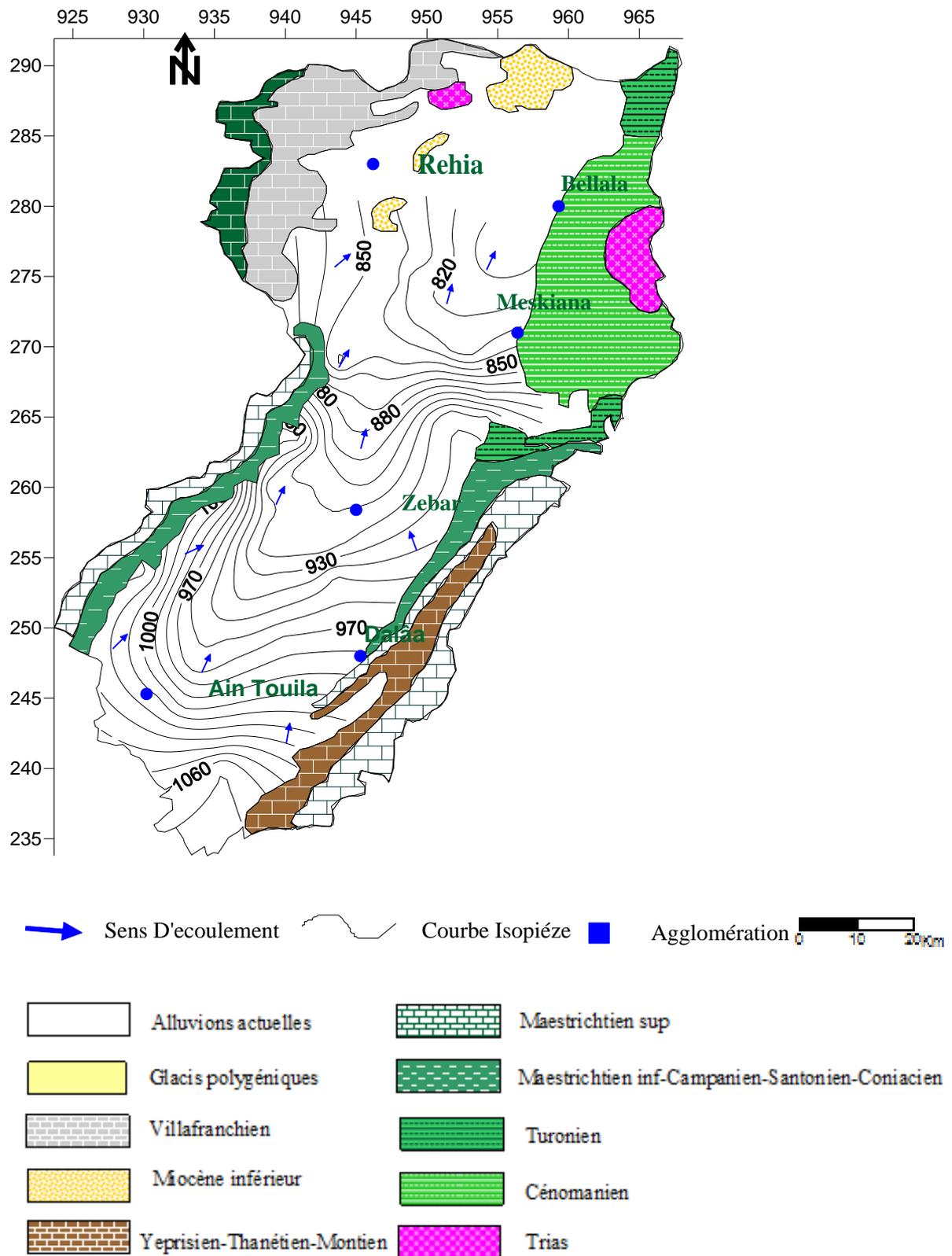


Figure IV.16: carte piézométrique de la nappe de Meskiana mars 2016

## IV.7 Alimentation et recharge de la nappe :

### Il 2 cas :

- ✓ L'alimentation de la nappe de Meskiana se fait essentiellement à partir des eaux météoriques de type va dose, qui s'infiltrent sur tout l'impluvium.
- ✓ L'alimentation se fait par l'écoulement de l'oued de Meskiana qui s'infiltrent au niveau de leur cônes de déjection en période « hautes eaux ». Cette dernière alimentation est facilitée par la bonne perméabilité des formations alluvionnaires formées des éléments grossiers des cônes de déjections. mémoire de OMAR 2015

Au centre les éléments sont de plus en plus fins et argileux. Ceci est bien mis en évidence par la diminution du gradient hydraulique de l'amont en aval.

Notons qu'une alimentation latérale à partir des affleurements calcaires existe-ceci est visible en particulier dans la zone d'Ain Delaa ou les isopièzes sont subparallèles aux affleurements de ces formations. La source d'Ain Delaa issue des mêmes calcaires, constitue un bon apport dans la recharge de la nappe.

Au Nord-Est, les isopièzes sont sub-perpendiculaires aux affleurements l'alimentation est nulle à partir de ces affleurements.

Les zones d'alimentation amont de la plaine de Meskiana, sont les zones préférentielles de la recharge.

## IV.8. Conclusion :

De l'étude de la piézométrie, nous constatons que l'écoulement général de la nappe est caractérisé par des vitesses variables. Cet écoulement est rapide en amont avec un gradient hydraulique élevé, devant au centre relativement lent, pour se ressaisir en aval.

La piézométrie a aussi mis en évidence les zones d'alimentation de la nappe. Elle peut se faire:

- A partir des eaux météoriques qui s'infiltrent dans les alluvions quand la granulométrie des terrains le permet.
- A partir des eaux de ruis de l'oued de Meskiana.
- A partir des affleurements calcaires. Cette alimentation peut être latérale ou ascendante. Elle est très importante au Sud-Est.

## V.1 Introduction :

L'étude hydro chimique constitue une étape importante pour déterminer l'utilisation possible des eaux tous les domaines.

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence:

- En agriculture : apports de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$
- Rejets des eaux usées : apports de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et quelques métaux lourds.

Dans ce chapitre on va étudier les paramètres physico-chimique des eaux souterraines, et d'essayer d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour expliquer le fonctionnement hydraulique du système aquifère. L'étude se base principalement sur les informations de six campagnes de prélèvement à partir de 43 points d'eau, répartis sur le terrain. Comme la plaine de Meskiana est à vocation agricole, un intérêt particulier sera accordé à cet effet.

## V.2 Cycle de l'eau et minéralisation

Le cycle hydrologique désigne le cycle complet des phénomènes subis par l'eau depuis la vapeur d'eau atmosphérique, en passant par l'état liquide ou solide sous forme de précipitations, pour s'écouler sur ou sous terre jusqu'à la mer, et finalement retourner à la forme de vapeur d'eau atmosphérique par l'action de l'évaporation et de la transpiration.

Au cours de ce cycle, l'eau acquiert sa minéralisation au contact des différents réservoirs géologiques, biologiques et atmosphériques, processus auxquels se superposent les impacts des activités humaines sur la qualité de l'eau.

## V.3 Conditions aux limites :

Dans le but de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique de la nappe, on a établi la carte des conditions aux limites de la nappe aquifère de Meskiana (figure 34). Cette carte a été établie en se basant sur les caractéristiques lithologiques des formations géologiques, les propriétés géophysiques de celles-ci et les relevés piézométriques.

La bordure orientale de Dj Guerigueur, formée essentiellement par des calcaires fracturés d'âge Maestrichtien, constitue une limite perméable, car elle alimente latéralement la nappe alluviale. La bordure occidentale de Dj Bou Tokhma et Dj Guern Ahmar, formée de calcaires perméables d'âge Maestrichtien, constitue une limite à flux entrant. Vu leur nature lithologique, les marnes cénomaniennes, affleurant au Nord-Est de la plaine, forment une limite étanche.

Les marnes et les argiles Emscheriennes constituent le substratum imperméable, empêchant ainsi les eaux d'infiltration de pénétrer en profondeur. Ces dernières s'écoulent gravitairement vers l'aval. Au Nord, le substratum imperméable surgit en surface, ce qui rend la quasi-totalité de cette limite imperméable, avec une zone centrale à flux imposé sortant.

L'Oued Meskiana draine la nappe alluviale en période des basses eaux, comme il peut l'alimenter en période de hautes eaux, et correspond par conséquent à une limite à potentiel imposé. Les pluies efficaces sont pratiquement nulles, comme on l'a vu lors de l'étude du bilan hydrologique.

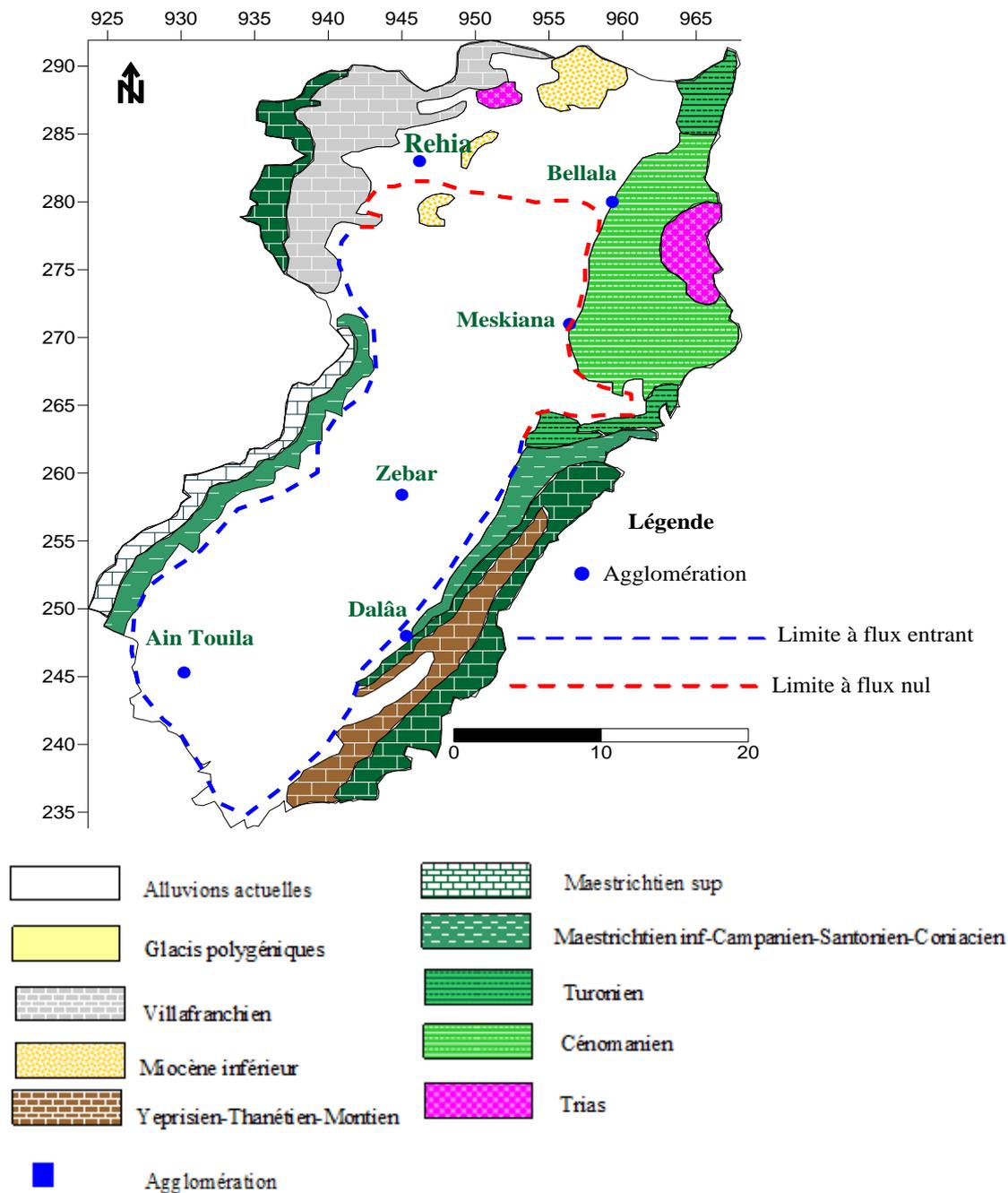


Figure V.17. Carte des conditions aux limites dans la nappe de Meskiana, Mars 2016

### V.4 Minéralisation :

La minéralisation c'est un paramètre physique qui détermine la charge de l'eau en sels minéraux dissous et en matières en suspension qu'elles soient organiques ou minérales. Elle est exprimée en (mg/l).

Les valeurs minimales sont observées au niveau du puits P1 à l'amont de la nappe avec 483 mg/l, tandis que les valeurs les plus élevées se localisent à l'aval de la nappe avec 3372 mg/l au niveau de puits P38. On signale qu'il y a une bonne corrélation entre la minéralisation et la conductivité électrique où le coefficient de corrélation  $R = 0,91$ .

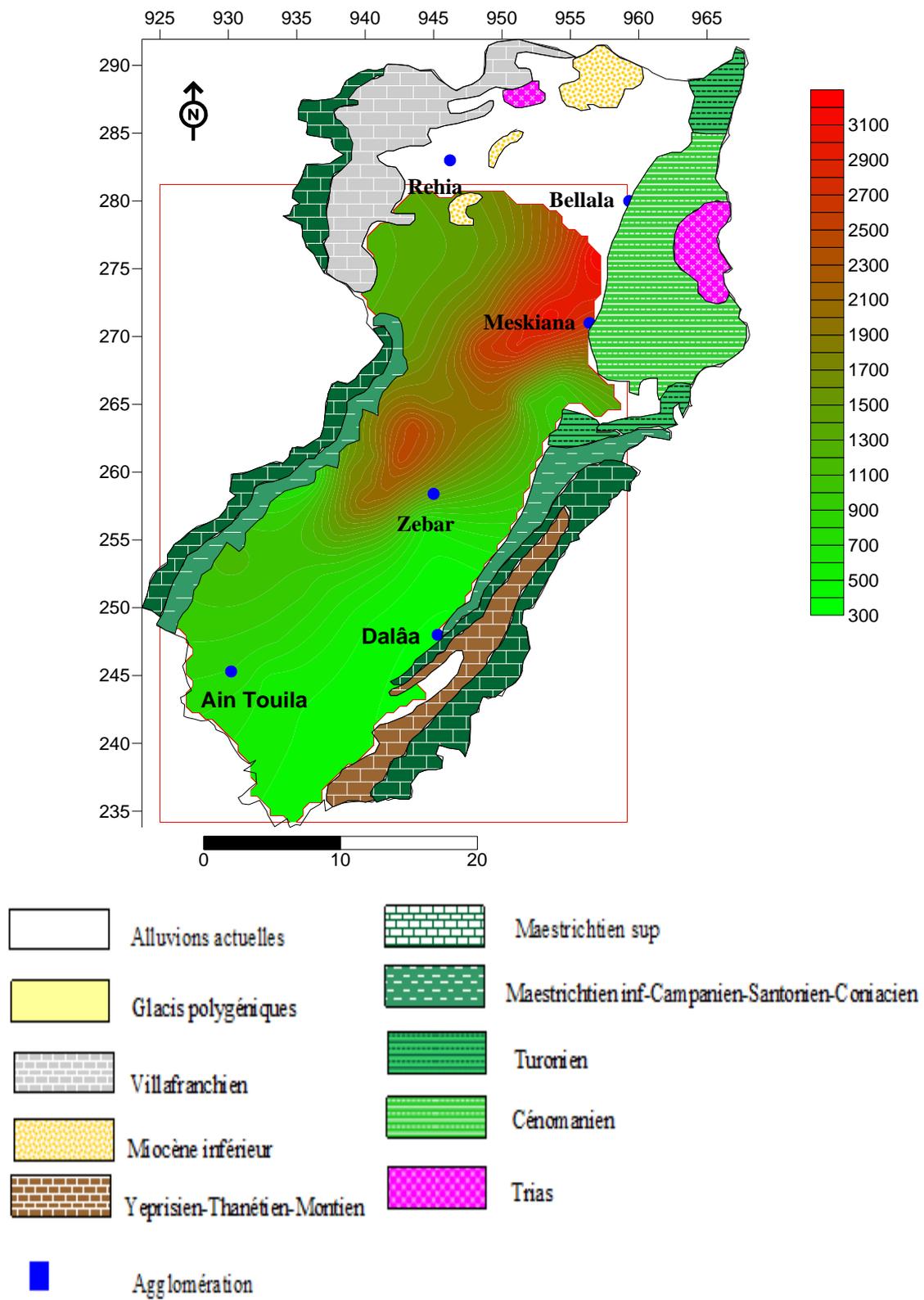


Figure V.18. Carte de la minéralisation dans la nappe de Meskiana , mars 2016

## ❖ Etude des paramètres chimiques

### V.4.1. Cations :

#### • Calcium $\text{Ca}^{++}$ :

Les ions de calcium existants dans l'eau proviennent de la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ) de bordures et de roches gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ) contenus dans les marnes Emschériennes et les dépôts évaporitiques provenant de Djebel Belkefif dans la zone Nord-Est. Pour les roches carbonatées, l'apparition du calcium résulte de la dissolution des formations ( $\text{CaCO}_3$ ) par l'attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ).<sup>2</sup>



Les concentrations oscillent en général entre 76 et 805 mg/l. Ces dernières sont relativement faibles à l'amont de la nappe par rapport aux autres régions, La variation des teneurs en calcium est semblable à celle des chlorures, ce qui confirme la prédominance du faciès chloruré-calcique. On remarque que les fortes concentrations coïncident avec la période des basses eaux à cause de le phénomène d'évaporation.

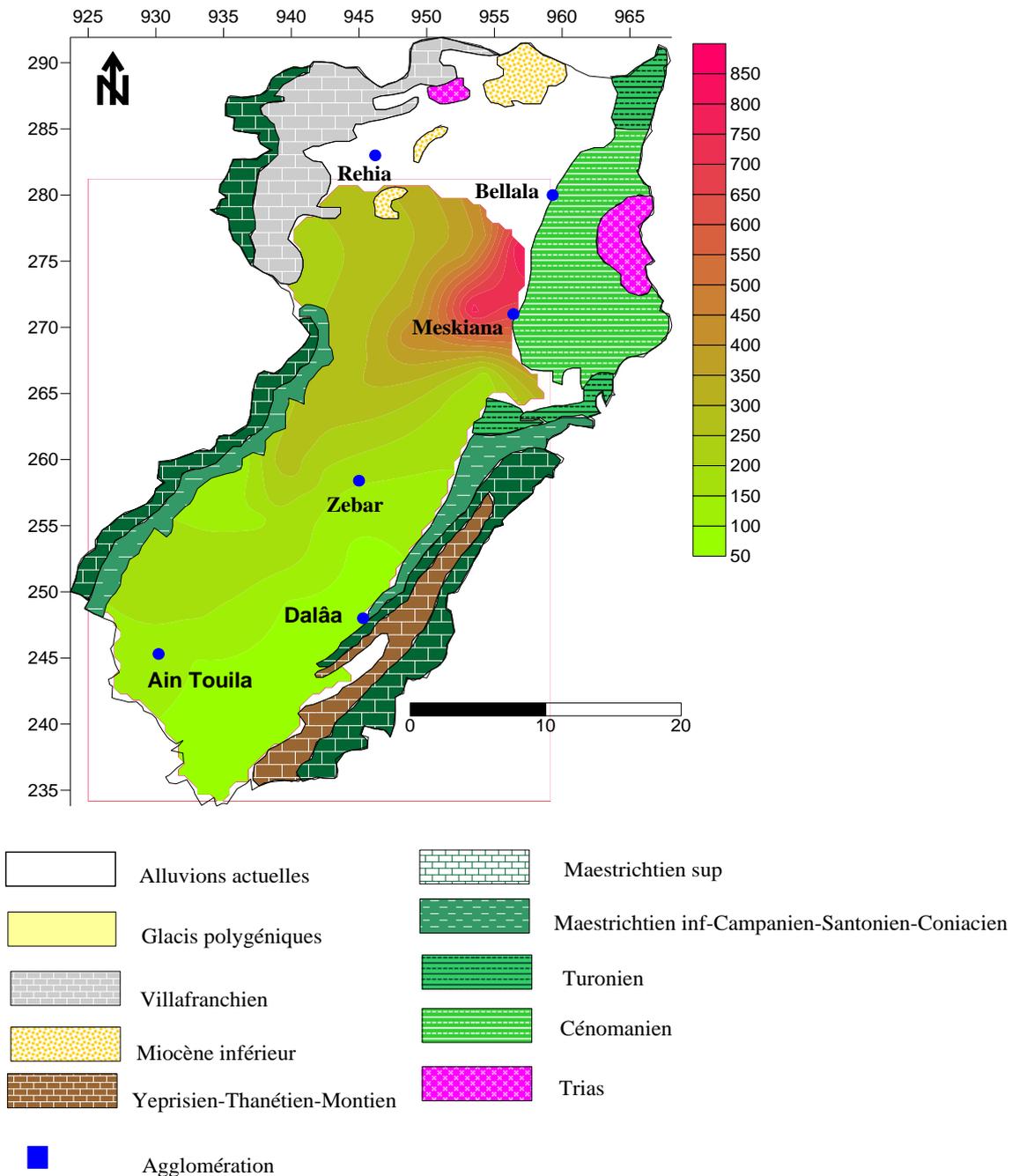


Figure V.19. Carte du Calcium dans la nappe de Meskiana, mars 2016

• **Sodium et potassium ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) :**

L'observation des deux cartes montre que les concentrations sont importantes dans la zone Nord-Est de la plaine pendant la période des basses eaux, ce qui traduit l'effet de l'évaporation, car la surface piézométrique n'est pas profonde. Les formations évaporitiques riches en Na Cl du Trias de Dj.Belkif. et des eaux usées d'origine domestique.

Des teneurs assez remarquables sont observées au centre de la nappe, pendant les deux périodes, on pense que les époinçements triasiques masqués sous le recouvrement du remplissage sont à leur origine.

On signale que les faibles concentrations se localisent en amont de la nappe, là où les eaux souterraines sont au début de leur cheminement, c'est-à-dire ne sont pas encore trop minéralisées. Les argiles du Crétacé, qui se trouve dans la nappe, peuvent donner du sodium par le phénomène d'échange de base et ce en fixant un ion  $\text{Ca}^{2+}$  après libération de deux ions  $\text{Na}^+$ .

Les valeurs du sodium varient de 23 mg/l à 425 mg/l. c'est la valeur la plus élevée observée au puits (P69) et la plus importante est de 23 mg/l au puits (P1).

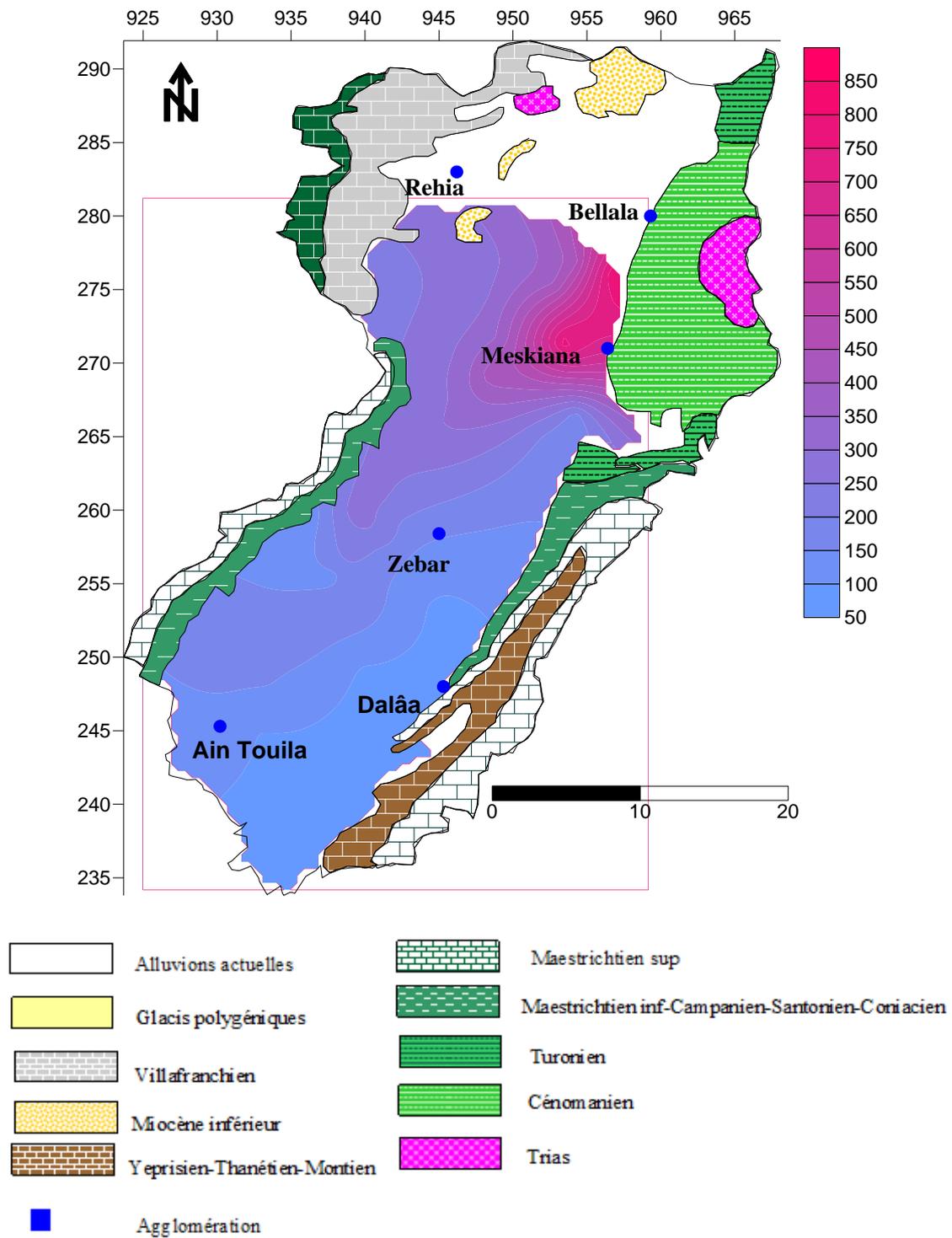


Figure V.20. Carte des sodium et potassium dans la nappe de Meskiana ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) :

V.4.2. Anions :

• Chlorures  $Cl^-$  :

Le chlore a plusieurs origines à savoir :

- ✓ la dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères.
- ✓ les engrais chimiques et les pesticides.
- ✓ les rejets des eaux usées d'origines domestiques.

A partir des résultats des analyses des échantillons d'eaux, on constate que les teneurs en chlorures sont assez importantes, variant de 38 mg/l au (P1) à 925 mg/l au (P34 ).

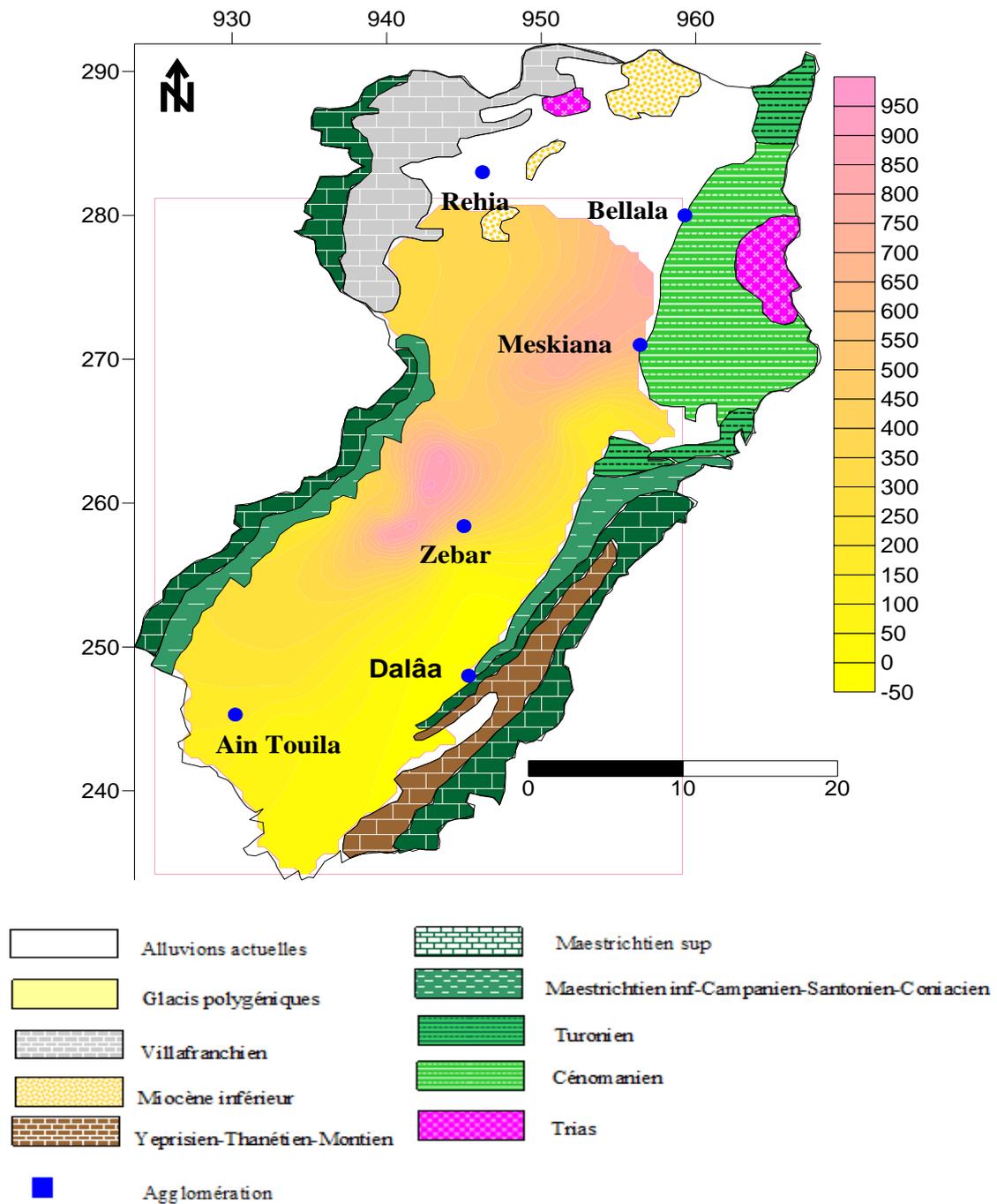


Figure V.21. carte des chlorures dans la nappe de Meskiana, mars 2016

• **Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :**

Les ions Sulfates sont toujours présent dans les eaux naturelles en quantités variables leur présence dans l'eau résulte :

- ✓ De la légère solubilité des sulfates de calcium(CaSO<sub>4</sub>) des roches gypseuses (CaSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O).
- ✓ De l'oxydation des sulfates (pyrites, gypse) :
- ✓ Des eaux usées industrielles contenant de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)
- ✓ De l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufres. Emie dans l'atmosphère puis entrainé lors des précipitations

Les teneurs en sulfate dépassent largement les normes admissibles. A partir des résultats des analysés chimiques, les teneurs en sulfates varient entre 75mg/l au (P31) au (P65) au 1098mg/l Ces deux valeurs représentent les teneurs limitées en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

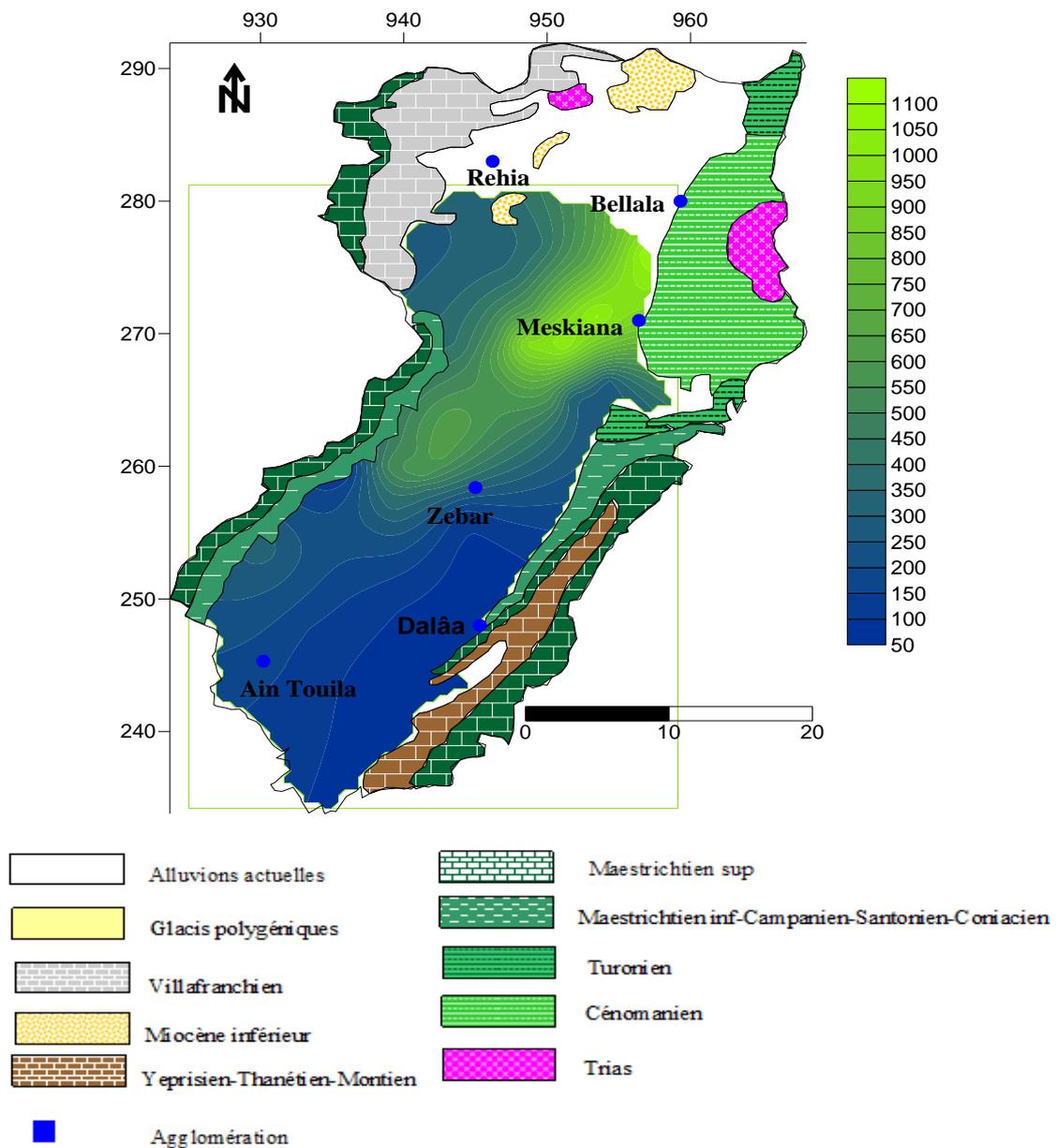
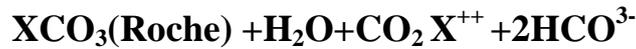


Figure V.22. Carte de Sulfates dans la nappe de Meskiana; mars 2016

• **Bicarbonates:**

Les ions Bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon la relation suivante :



Avec:

**X:** désigne un élément chimique de la roche.

En d'autres termes, la teneur en ( $HCO_3^{-}$ ) dans l'eau dépend d'une certains nombres des paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l'eau ;
- la concentration du ( $CO_2$ ) dessous ;
- la concentration de l'eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

Les concentrations en ions Bicarbonates qui sont relativement fortes d'après les résultats des analyses des échantillons d'eau relevés au niveau de la plaine.

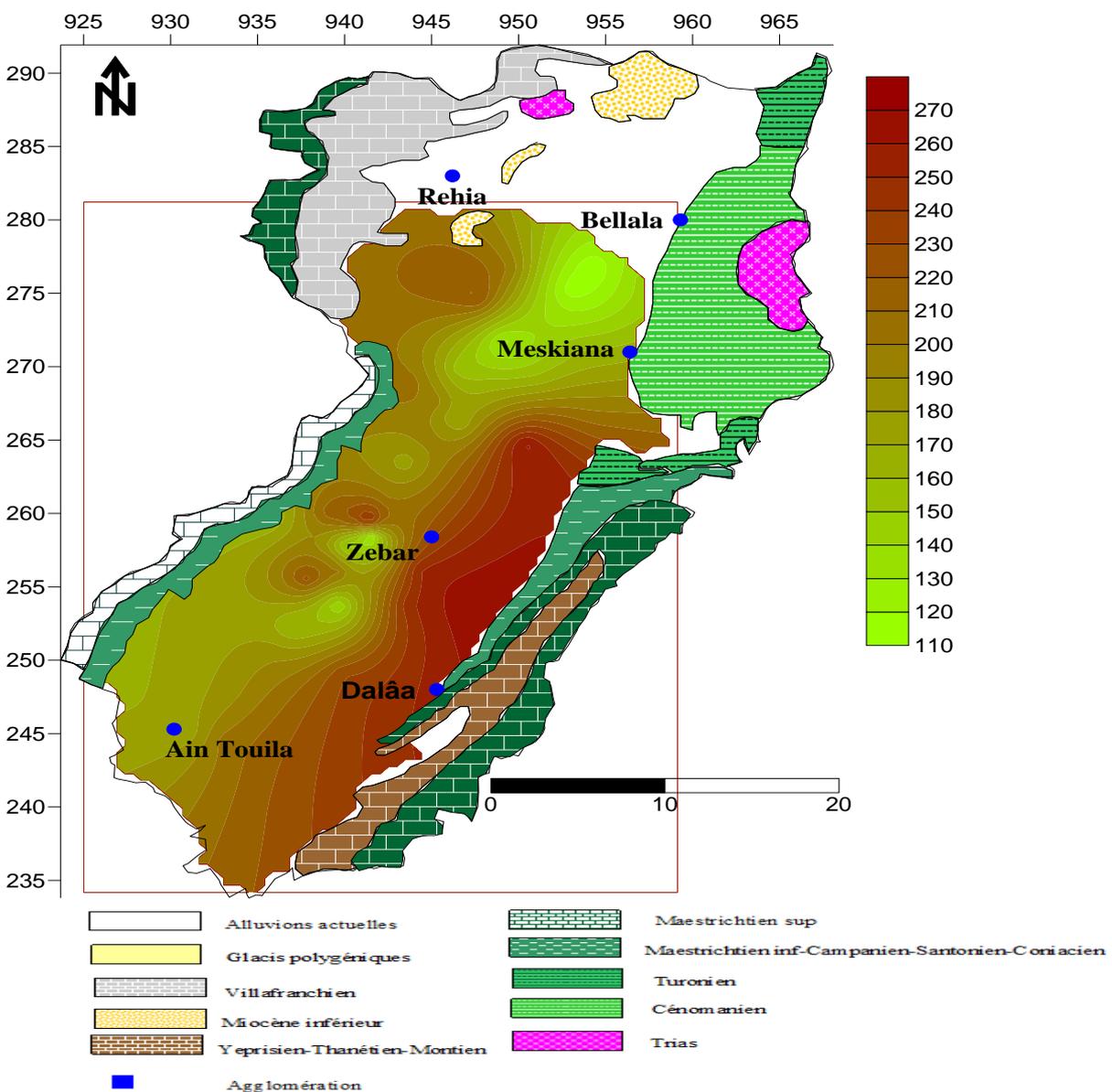


Figure V.23. carte des Bicarbonates dans la nappe de Meskiana ; Mars 2016

## V.5 Représentation graphique des résultats :

### ➤ Détermination des faciès chimiques :

#### V.5.1. Diagramme de Piper :

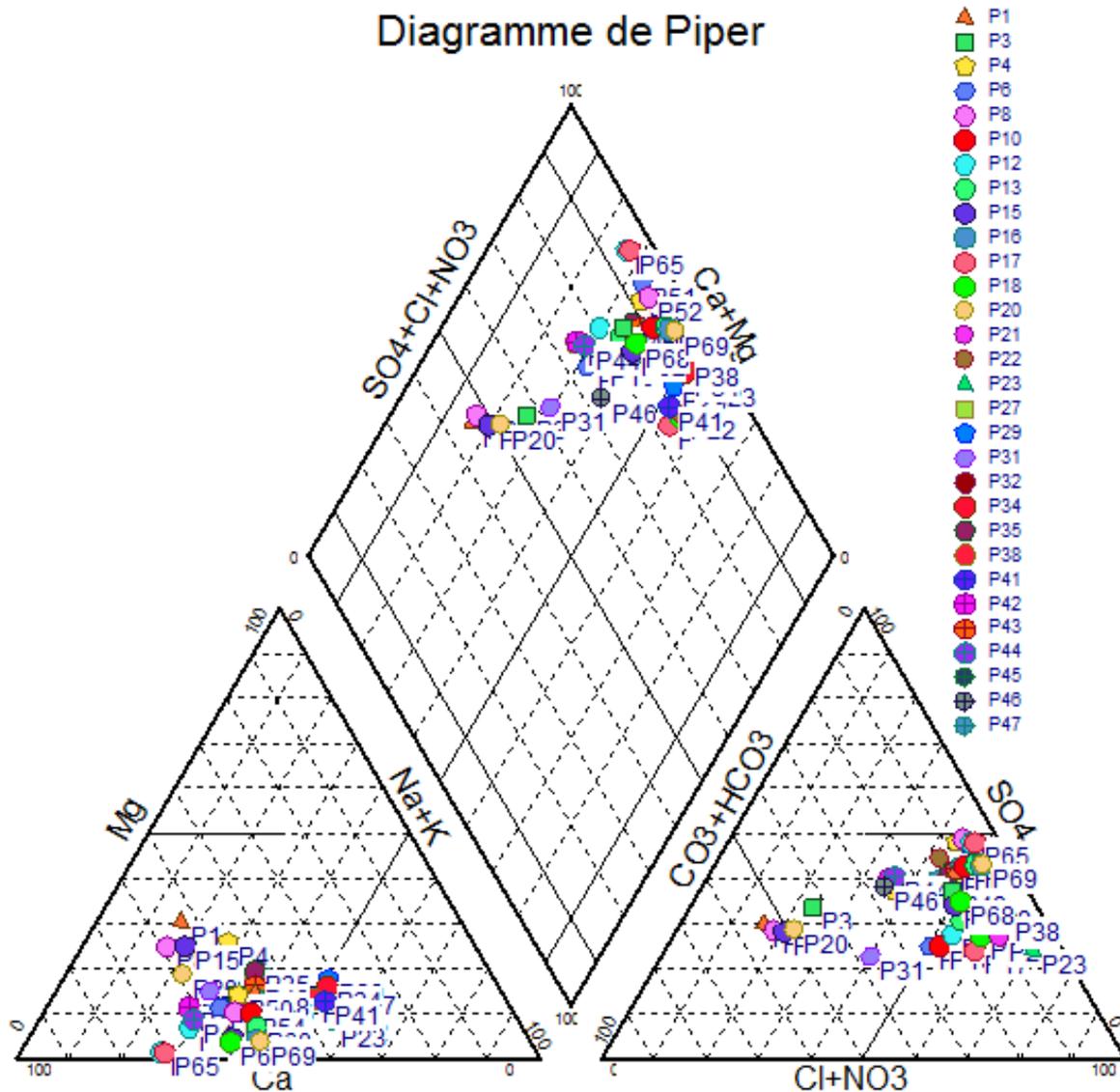
Le diagramme de Piper est une composante graphique qui permet de visualiser, quantitativement et qualitativement, la composition chimique des eaux. Le procédé consiste à porter les concentrations sur deux triangles équilatéraux (triangle des anions et triangle des cations) puis à projeter les points représentatifs des échantillons dans un diagramme sous forme de losange qui donne les compositions totales en éléments majeurs et les faciès chimie des eaux. La représentation des données de l'analyse de l'eau sur le diagramme de Piper a permis de distinguer les faciès chimiques illustrés dans le tableau suivant.

**Tableau V.1: Représentation de Piper des eaux souterraines de Meskiana**

| compagnes | Faciès chimique         |                       |                      |                      |                     |
|-----------|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|           | Bicarbonaté calique (%) | Chloruré calcique (%) | Chloruré sodique (%) | Sulfaté calcique (%) | sulfaté sodique (%) |
| Mars2016  | 11,62                   | 48,83                 | 20,93                | 11,62                | 6,97                |

Les nuages de points montrent une dominance cationique sodique qui s'explique par les marnes emschériennes gypsifères qui constituent le substratum de la nappe, et quelques points calciques. Pour les anions, les nuages de points montrent une dominance de chlorure et la présence d'une faible tendance vers les anions sulfatés, Ces derniers se localisent à proximité des bordures calcaires.

La combinaison des différents cations et anions donne naissance à trois faciès dominants qui sont: Le chloruré magnésienne, le chloruré calcique, et le sulfaté calcique, les conditions climatiques, la lithologie et les conditions hydrodynamiques favorisent la formation de ces faciès.



**Figure V.24: Diagramme de Piper des eaux souterraines de Meskiana mars 2016**

### V.5.2. Diagramme de Schoeller - Berkaloff :

Ce diagramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ), les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons. D'une manière générale, l'allure des courbes brisée montre les faciès suivants: chlorurée et sulfate calcique et magnésinne pour l'ensemble des puits de P1 jusqu'à P43.

Meskiana

Schöeller  
Berkaloff

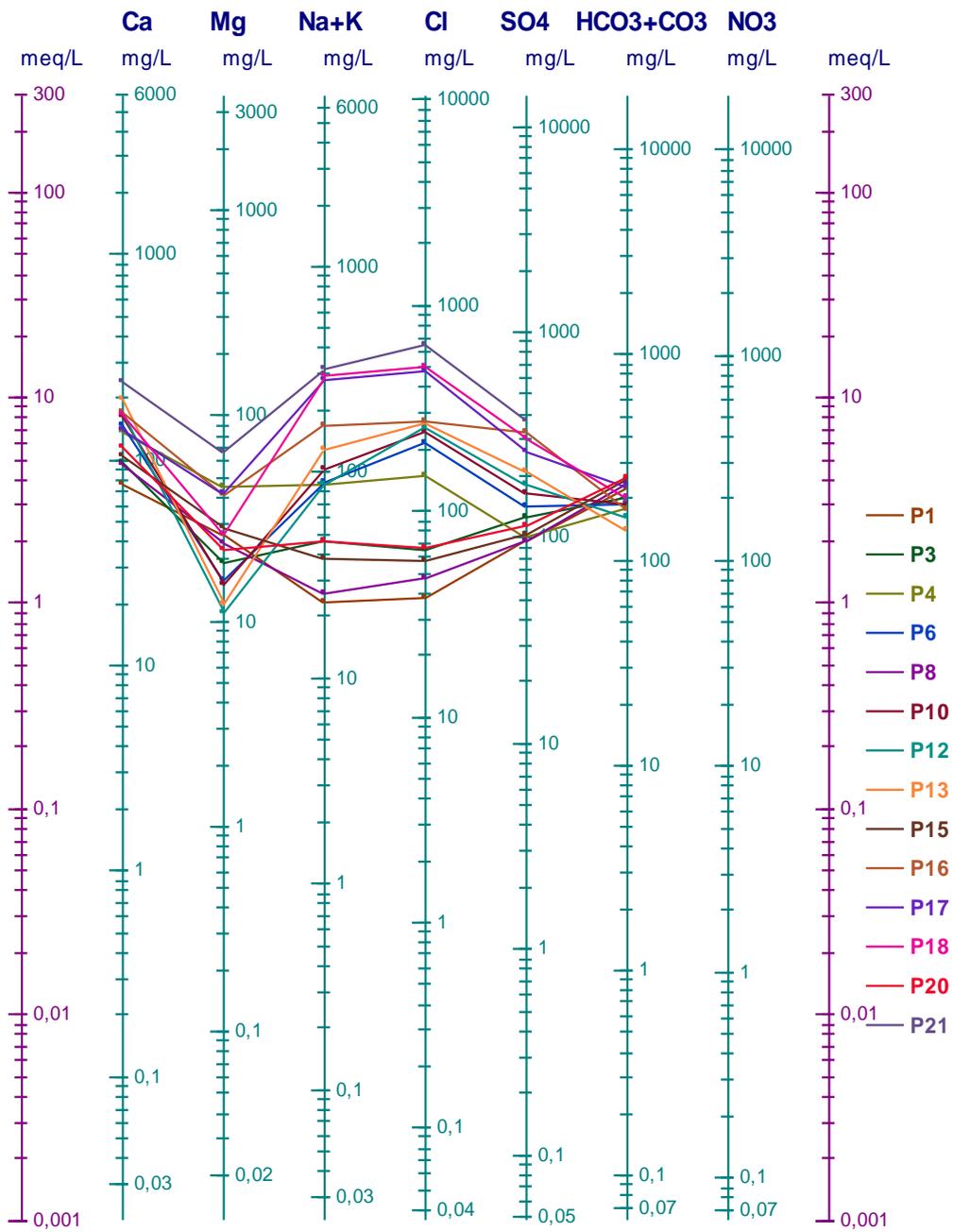


Figure V.25. Diagramme de Scheller des eaux souterrains de Meskiana mars 2016

Meskina

Schöeller  
Berkaloff

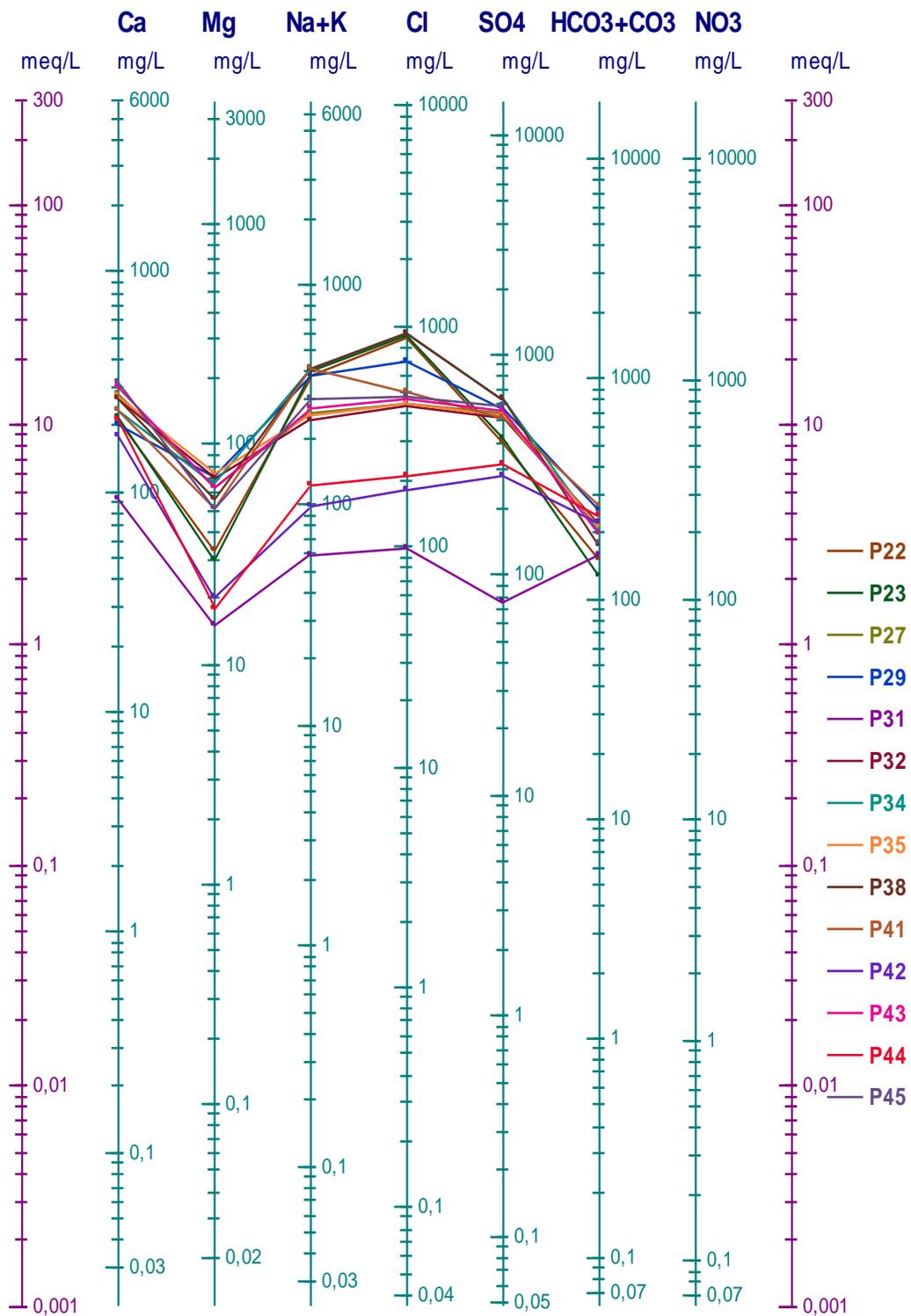


Figure.26.Diagramme de Scheller des eaux souterrains de Meskiana mars 2016

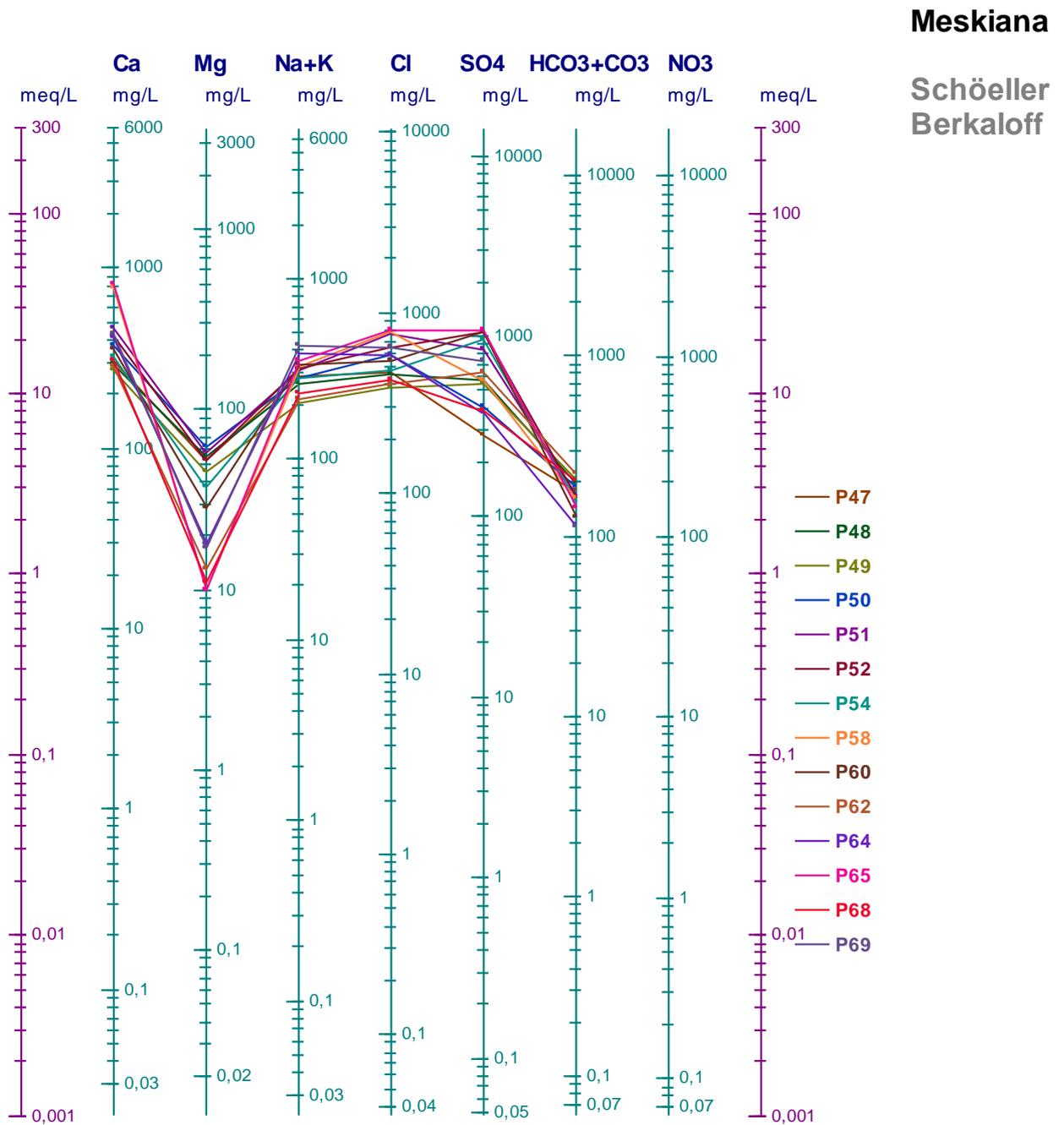


Figure.27. Diagramme de Scheller des eaux souterrains de Meskiana mars 2016

**V.5.3. Classification de Stabler:**

Dans cette classification, les concentrations exprimées en (meg/l) sont réduites en quantités en réaction en pourcent (%) et peuvent être exprimer de façon imagée par une formule caractéristique ou formule ionique qui s’obtient en classant les quantités en réaction en pourcent de gauche vers la droite et par ordre décroissant en se basant sur la prédominance de tel ou tel anion.

Stabler

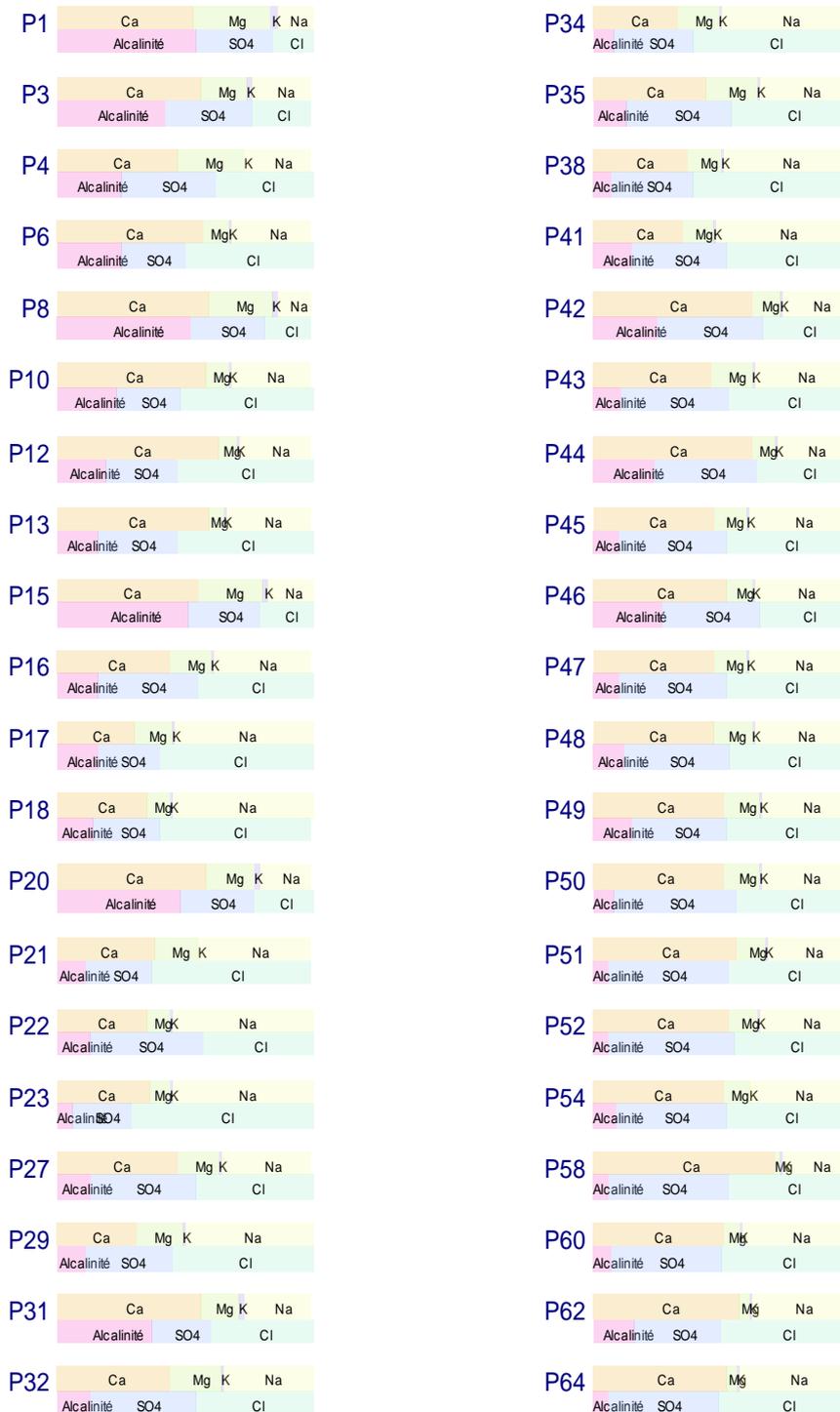


Figure V.28. facies chimique classification de stabler

Tableau V.2 : faciès chimique classification de stabler

| Point d'eau | Formule caractéristique  | Faciès chimique      |
|-------------|--|----------------------|
| P1          | $r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Bicarbonaté Calcique |
| P3          | $r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Bicarbonaté Calcique |
| P4          | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P6          | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P8          | $r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Bicarbonaté Calcique |
| P10         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P12         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P13         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P15         | $r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Bicarbonaté Calcique |
| P16         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P17         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique    |
| P18         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique    |
| P20         | $r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Bicarbonaté Calcique |
| P21         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique    |
| P22         | $r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Sulfaté Sodique      |
| P23         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique    |
| P27         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P29         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique    |
| P31         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P32         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P34         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique    |
| P35         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique   |
| P38         | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique    |

Suite :

|     |  |                    |
|-----|--|--------------------|
| P41 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique  |
| P42 | $r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Sulfaté Calcique   |
| P43 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P44 | $r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Sulfaté Calcique   |
| P45 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P46 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$> r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Mg}^{++})$ | Chlorurée Sodique  |
| P47 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P48 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P49 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P50 | $r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Sulfaté Calcique   |
| P51 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P52 | $r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Sulfaté Calcique   |
| P54 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P58 | $r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Sulfaté Calcique   |
| P60 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P62 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P64 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P65 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P68 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |
| P69 | $r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$<br>$r\%(\text{Ca}^{++}) > r\%(\text{Na}^+) > r\%(\text{Mg}^{++})$   | Chlorurée Calcique |

### V.6 Indice d'échange de base (i.e.b) :

Les eaux souterraines, en traversant les formations géologiques, se mettant en contact avec différentes roches du réservoir ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans les roches.

Selon Schoeller (1931), l'indice de base (i.e.b) est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants :

$$\text{i.e.b} = r \text{Cl}^- - r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) / r \text{Cl}^-$$

Cet indice donne des informations concernant l'origine des eaux à savoir :

- Si  $\text{i.e.b} < 0$  → L'eau est d'origine cristalline.
- Si  $\text{i.e.b} > 0$  → L'eau est d'origine sédimentaire.
- L'ensemble des points d'eau prélevés au centre et au Nord de la plaine d'étude présente un  $\text{i.e.b} > 0$ , qui est dû à la prédominance de Chlorure. Par contre le reste de la plaine présente un  $\text{i.e.b} < 0$ , qui indique la prédominance du Sodium.

**Tableau V.3: Indice d'échange de base**

| Point d'eau | IEB   | Point d'eau | IEB   |
|-------------|-------|-------------|-------|
| P1          | -0.10 | P38         | 0.31  |
| P3          | -0.20 | P41         | -0.25 |
| P4          | 0.07  | P42         | 0.21  |
| P6          | 0.33  | P43         | 0.08  |
| P8          | 0.03  | P44         | 0.15  |
| P10         | 0.31  | P45         | 0.03  |
| P12         | 0.44  | P46         | -0.24 |
| P13         | 0.22  | P47         | 0.03  |
| P15         | -0.14 | P48         | 0.08  |
| P16         | 0.02  | P49         | 0.16  |
| P17         | 0.07  | P50         | 0.21  |
| P18         | 0.06  | P51         | 0.36  |
| P20         | -0.15 | P52         | 0.22  |
| P21         | 0.22  | P54         | 0.07  |
| P22         | -1.07 | P58         | 0.34  |
| P23         | 0.33  | P60         | 0.01  |
| P27         | 0.14  | P62         | 0.16  |
| P29         | 0.13  | P64         | -0.03 |
| P31         | 0.12  | P65         | 0.32  |
| P32         | 0.15  | P68         | 0.12  |
| P34         | 0.31  | P69         | 0.04  |
| P35         | 0.12  |             |       |

### V.7 Évolution des éléments chimiques :

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale de Meskiana proviennent des formations carbonatées de l'Eocène et du Maestrichtien qui bordent la plaine. Ensuite, elles s'écoulent dans un matériel très hétérogène (des alluvions, des sables, des graviers, des dépôts évaporitiques, etc.). Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. En se basant sur les mesures et les analyses chimiques de toutes les campagnes, on va essayer de déterminer l'origine probable de tous les ions.

## V.8 Les Rapports Caractéristiques :

### V.8.1 Le Rapport $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ :

Le diagramme Na - Cl montre un nuage de points qui s'aligne sur la droite de pente 1 suivant un coefficient de corrélation de 0.86. Cette tendance informe que les deux ions possèdent presque la même origine et proviennent de la dissolution de l'halite. Ceci laisse supposer la contribution des ions sodium à la salinité des eaux, ce qui est confirmé par le faciès chloruré sodique.

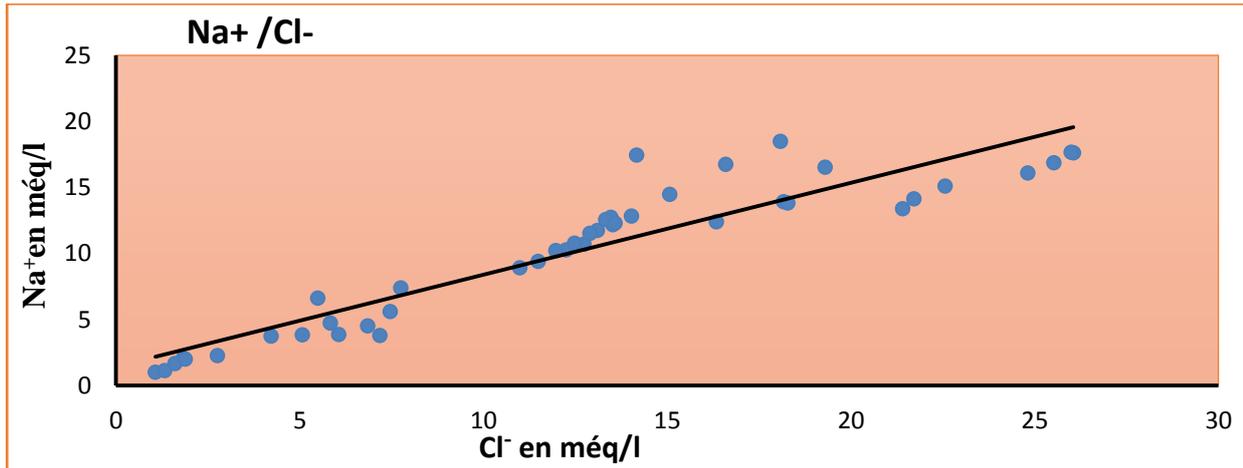


Figure V.29: la relation chlorure - sodium dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.

### V.8.2 Le Rapport : $\text{Mg}^{+2} / \text{SO}_4^{-2}$ :

Aucune dissociation ionique entre ces deux éléments car ils sont des éléments de différentes origines évaporitiques (gypse) et carbonatés (dolomite) le coefficient de corrélation 0.10.

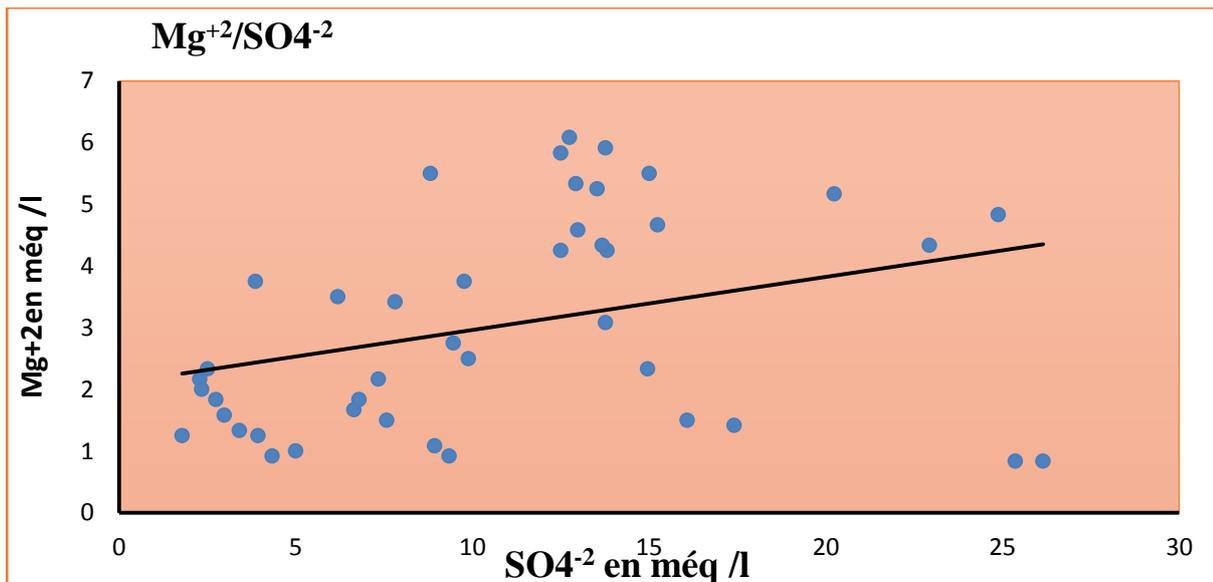


Figure V.30 : La relation  $\text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{-2}$  dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.

### V.8.3 Le Rapport : $\text{Ca}^{+2}/\text{Cl}^-$ :

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes le Cl provient de la dissolution de l'halite et probablement d'une pollution anthropique. Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse et le coefficient de corrélation 0.36

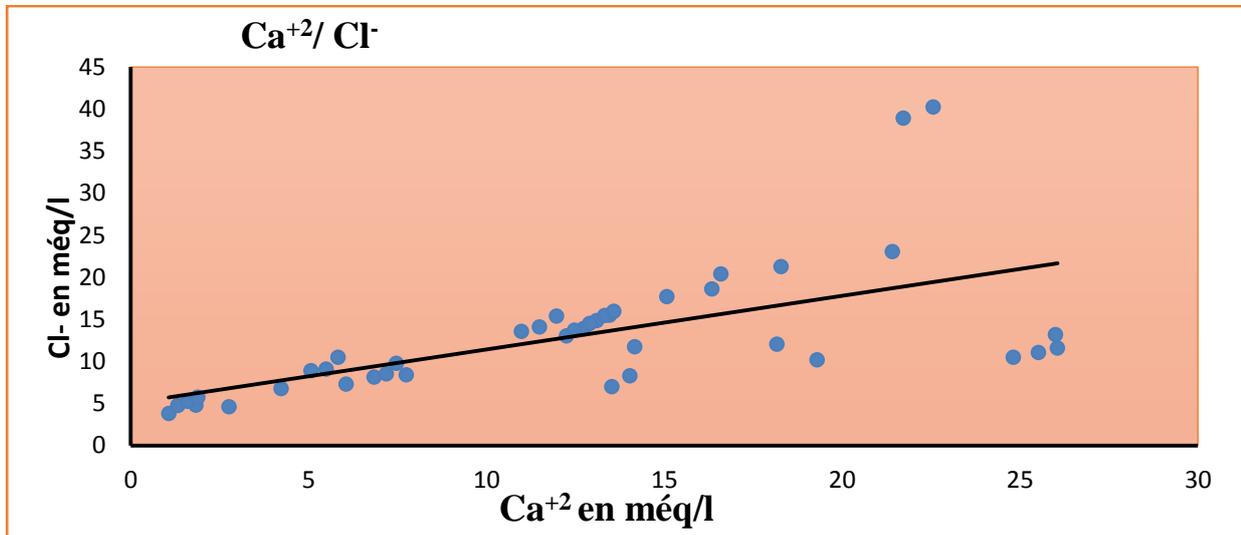


Figure V.31 : La relation  $\text{Ca}^{+2}-\text{Cl}^-$  dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.

### V.8.4 Le Rapport : $\text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ :

Deux ions sont différentes origines, le magnésium d'origine carbonaté (dolomite) et les bicarbonates de son origine probablement deux origines la première origine sont liée à l'alimentation de la nappe par les eaux riches en carbonate qui proviennent des versants qui entourent la plaine, la deuxième origine provient de la nappe profonde par drainage.

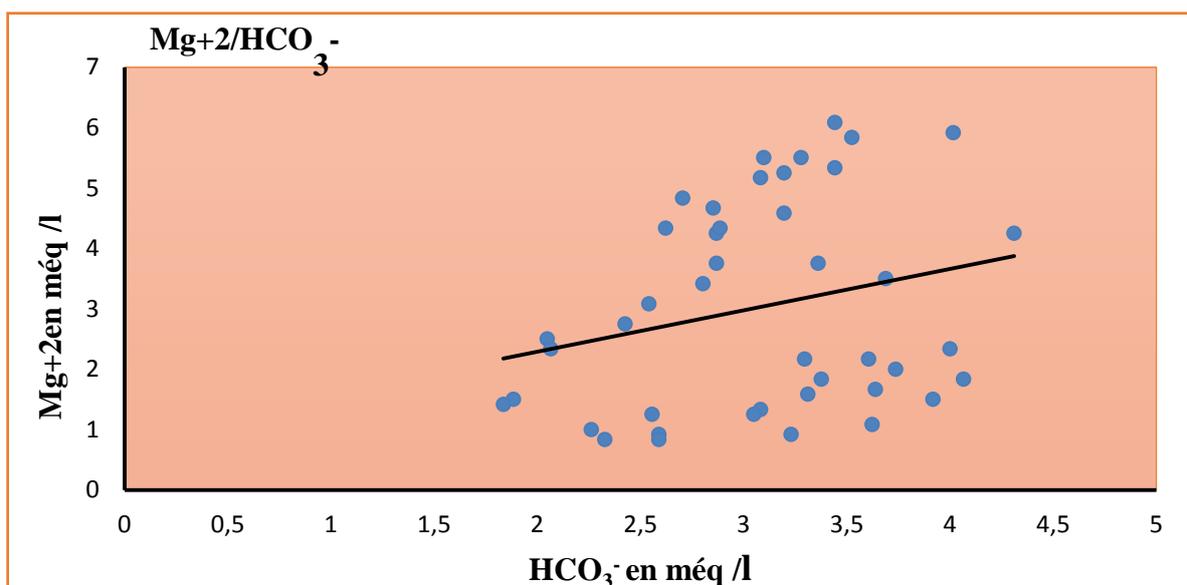


Figure V.32 : La relation  $\text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$  dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.

### V.8.5 Le Rapport : $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ :

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la Nappe.

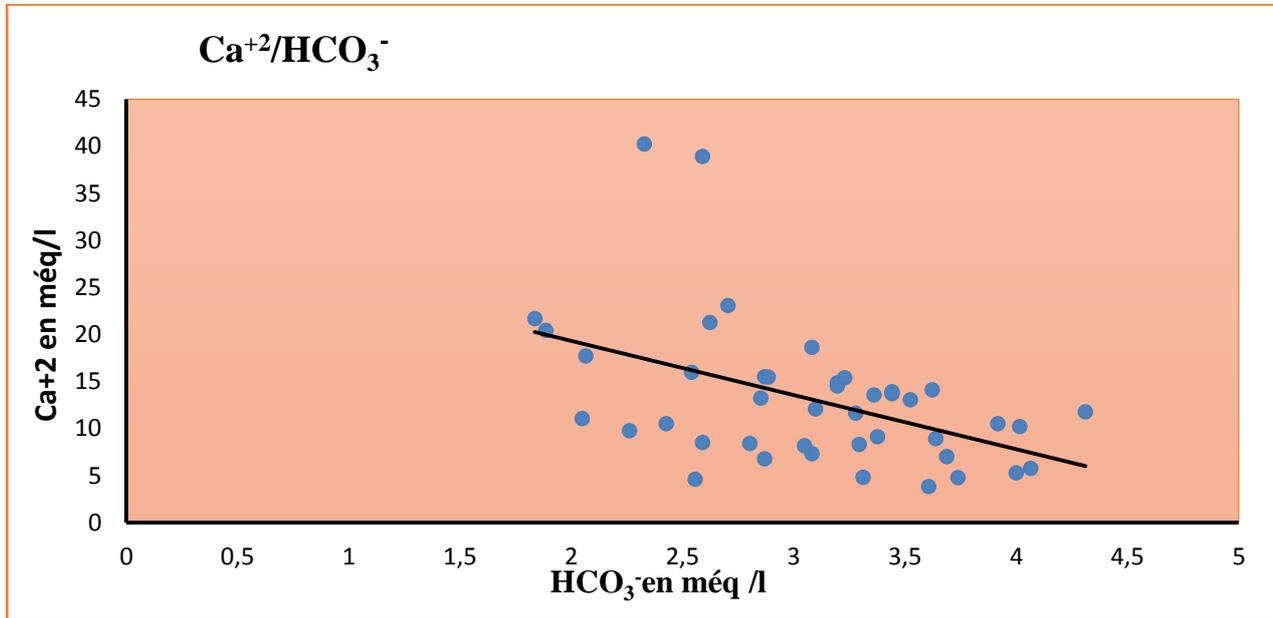


Figure V.33 : La relation  $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$  dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.

### V.8.6 Le Rapport : $\text{Na}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ :

On remarque que la majorité des points présentent un excès de sulfates. Les fortes concentrations en ions sulfates dans la plaine de notre étude est liées surtout à la présence des formations riches en gypse (diapir), qui se localise dans la partie Nord-Est de Meskiana. On note aussi la présence des teneurs en sulfate relativement fortes qui provenant de Djebel Belkefif qui trouve leurs origines dans les formations salifères (gypses) d'une part et l'utilisation des engrais chimiques d'autre part. Par contre on a un seul point d'équilibre.

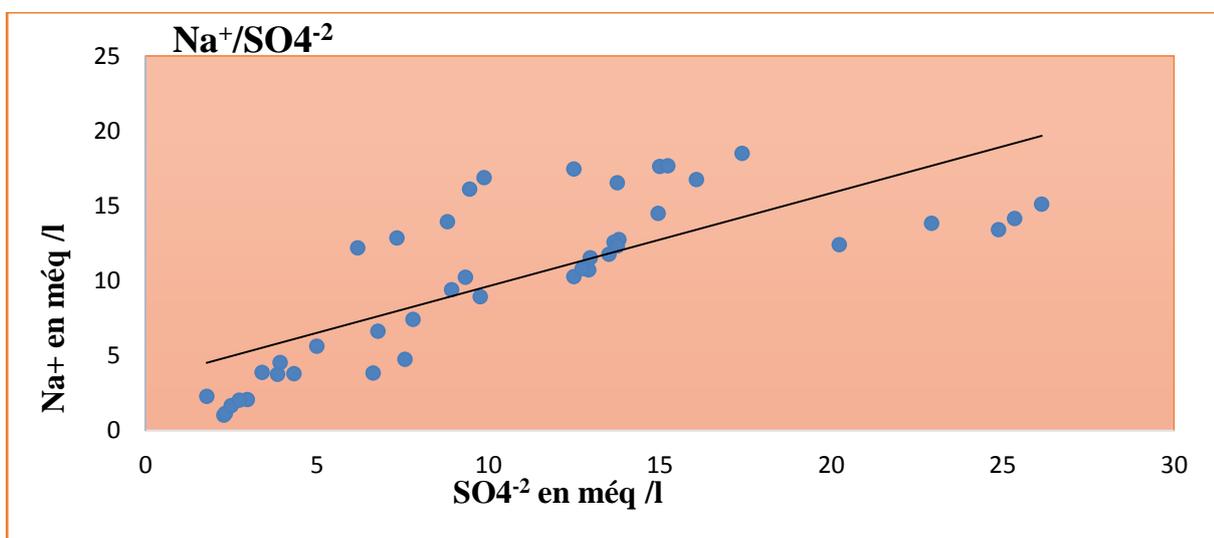


Figure V.34 : La relation  $\text{Na}^{+}-\text{SO}_4^{-2}$  dans les eaux souterraines de Meskiana, mars 2016.

### V.8.7 Le Rapport Echanges de bases :

Pendant son écoulement l'eau au contact de la roche libère le calcium (cas de saturation en calcium) et fixe le sodium. Pour illustrer ce mécanisme on a choisi une méthode graphique.

L'observation de la figure (V.35) met en évidence, trois familles d'eau :

- Une première caractérisée par un excès de calcium, le nombre d'échantillon est très faible.
- La deuxième appartenant à la zone d'équilibre (état naturel), ses échantillons sont saturés.
- La troisième famille, met en évidence la présence d'un échange de base.

Le précédent graphe montre l'influence des formations carbonatées au niveau de la première famille (excès en calcium).

La deuxième famille correspond à la zone de transition (état naturel), en réalité, peut évoluer vers l'un des deux stades, sous l'effet de réaction chimique (thermodynamique).

Le troisième cas explique l'origine de sodium dans une zone où dominent particulièrement calcium et le sodium.

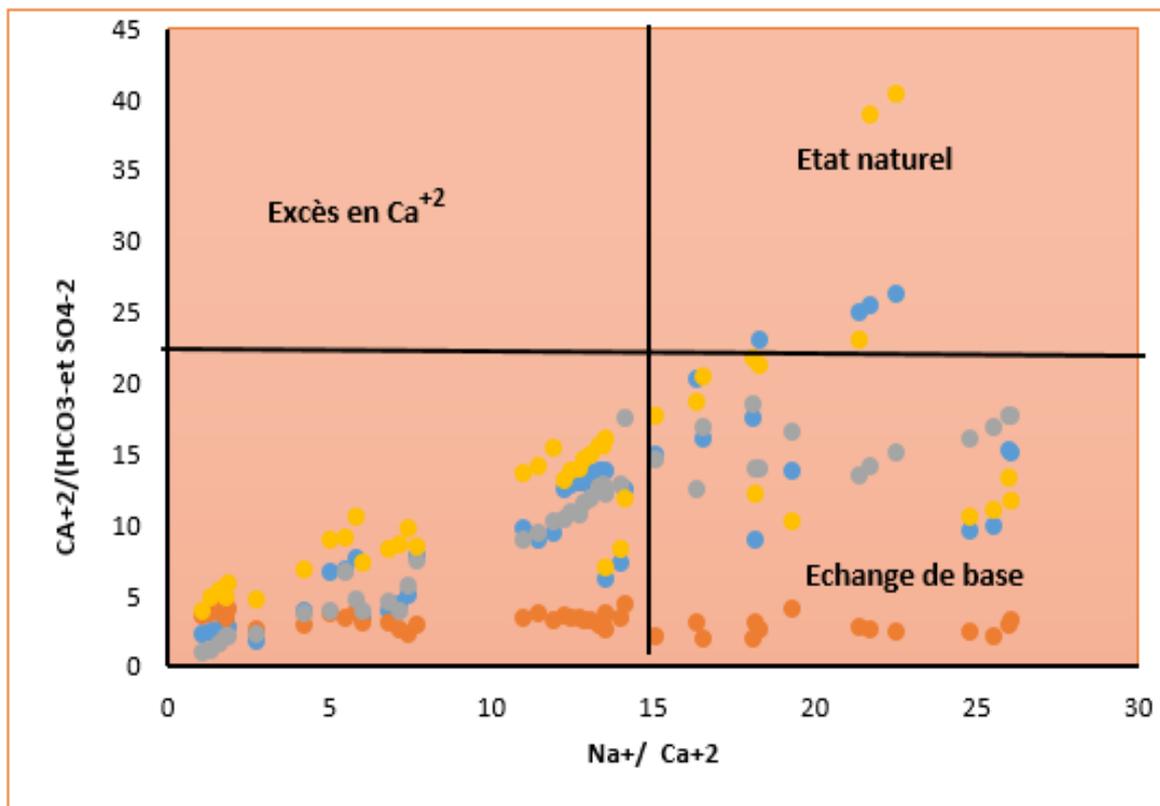


Figure V.35: Graphe explique le phénomène des échanges de bases

### V.8.8 Les Rapportes : $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ et $\text{HCO}_3^-$ :

Après avoir fait le point sur les origines des cations, on a essayé de représenter l'évolution des anions en fonction de la conductivité. L'interprétation de la figure (V.32) montre que la conductivité électrique n'évolue pas avec les bicarbonates, alors que les chlorures et les sulfates croissent avec la salinité. Cette dernière est donc due aux éléments salifères.

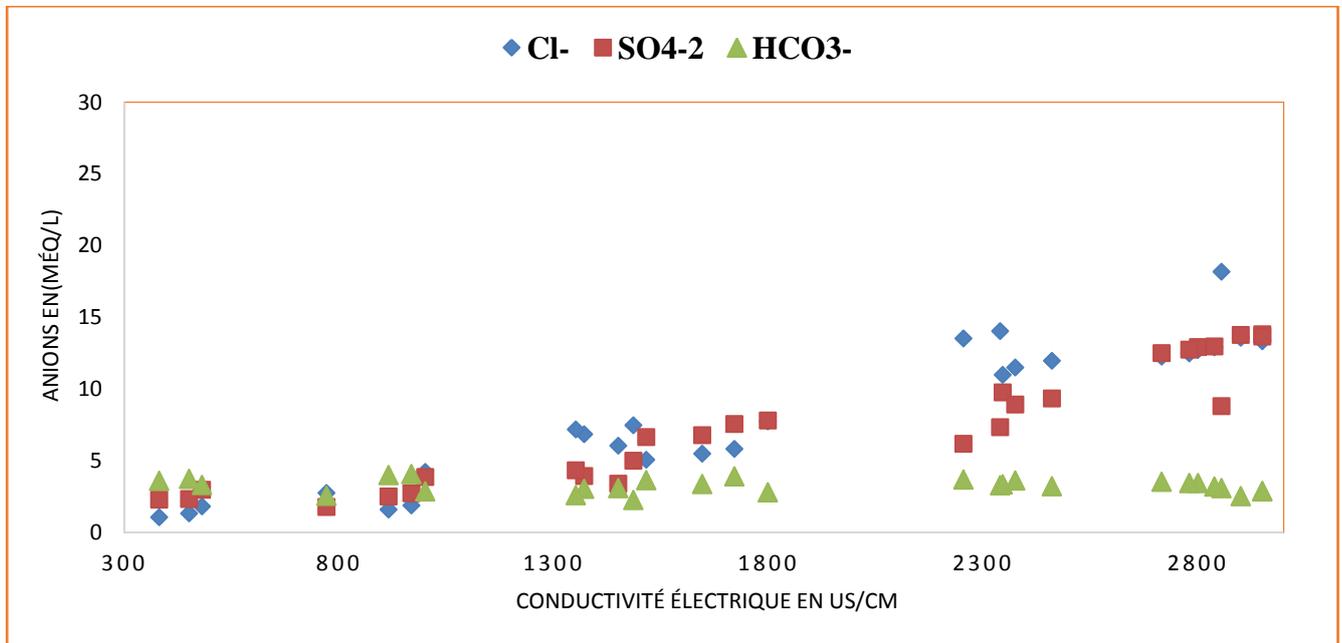


Figure V.36: Évolution des anions en fonction de la conductivité électrique.

### V.9 Interprétation du profil hydrogéochimique :

La minéralisation dans la plaine de Meskiana se propagée de la surface du sous-sol vers le centre et le Nord-Ouest. D'axe général de propagation est Sud-Est, Nord-Ouest.

✓ Au sud de la région on distingue une teneur de minéralisation faible et cette teneur à augmenter qu'on va au centre de la région 1900.

✓ Au nord de la plaine on a une minéralisation importante 3300 cette minéralisation due

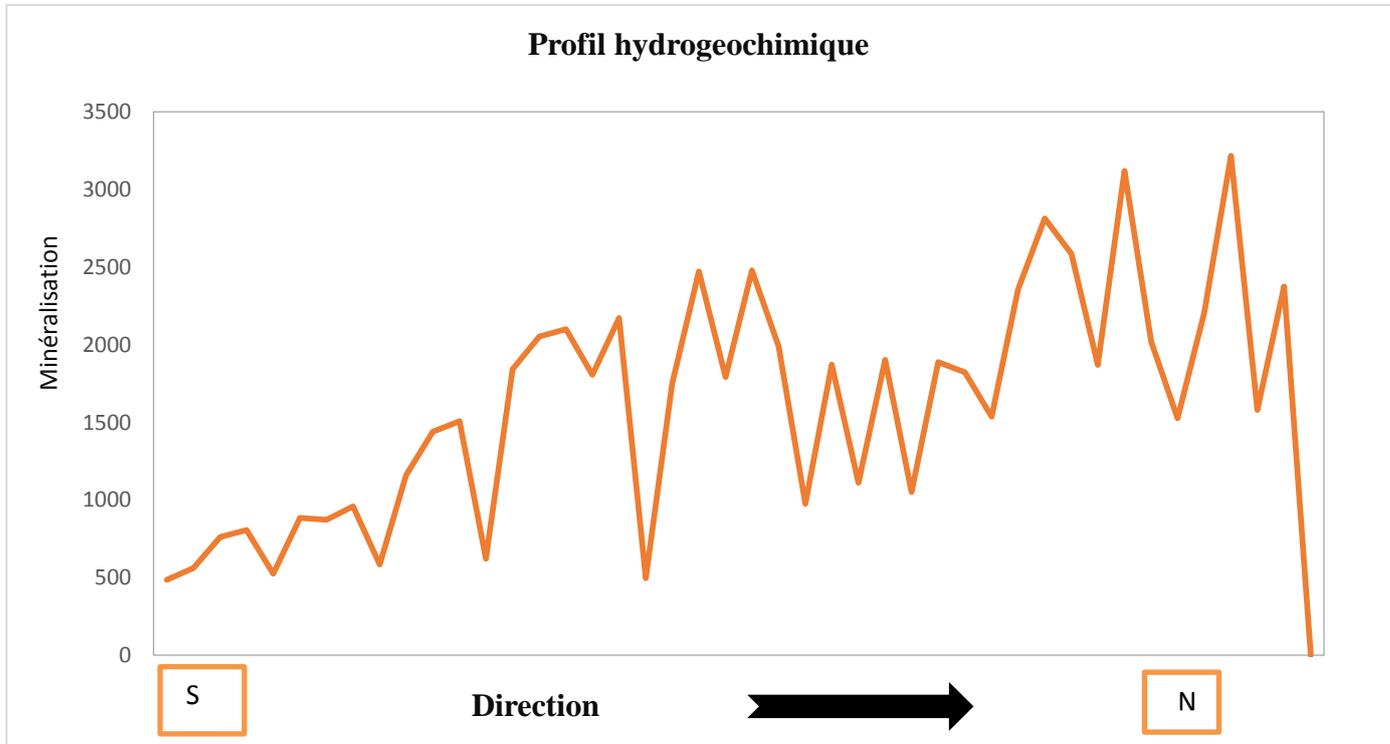
Les eaux météoriques commencent à acquérir leur minéralisation dès les premières pluies, où elles se chargent en une faible concentration d'éléments chimiques. Une fois interceptées par le sol, une partie des eaux de précipitation ruisselle à la surface et l'autre s'infiltré dans le sous-sol pour atteindre la nappe. Les eaux de ruissellement vont s'écouler vers les oueds où elles subiront une évaporation sous l'effet de la température, ce qui produit une précipitation des éléments chimiques sous forme de minéraux.

Les eaux qui s'infiltré dans les formations géologiques :

- ✓ calcaires de bordures, seront chargées en ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  par la dissolution. Les puits qui se trouvent à proximité des bordures attestent de cette minéralisation et se caractérisent par un faciès bicarbonaté calcique.
- ✓ riches en gypses et en sels, ce qui leur permet d'acquérir des concentrations importantes en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Les activités anthropiques peuvent provoquer la concentration des ions par :

- L'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, comme fertilisants, fait augmenter les Concentrations des éléments de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$
- L'irrigation par des eaux salées provoque la salinisation des sols et augmente ainsi la Minéralisation.



**Figure V.37: Evolution de la minéralisation dans la nappe de Meskiana mars 2016.**

## V.10 Origine des éléments chimiques :

### V.10.1. Origine du calcium $\text{Ca}^{+2}$ :

C'est normalement origine carbonaté, d'après la figure (V33) on a remarquer que le calcium évolue faiblement par rapport au bicarbonate, ce qui signifie qu'il provienne d'une autre origine qui sont les roches évaporitiques.

### V.10.2. L'origine des sulfates et bicarbonates :

Cette hypothèse que l'origine des bicarbonates est une origine carbonatée. Les sulfates qui leur origine est carbonatée des formations salifères

### V.10.3. L'origine du sodium :

Le sodium dans notre secteur d'études et d'après les figures(V.16.17.28) de l'évolution des éléments chimiques on distingue que l'origine du sodium c'est l'halite (sel gem) d'autre part c'est naturelles c'est-à-dire que la terre capte du chlorures et dégage le sodium ou anthropique a cause des engrais chimiques.

#### V.10.4. L'origine de la salinité :

Après avoir la détermination des origines des éléments chimiques on peut avoir que Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de quatre faciès dominants qui sont le chloruré calcique, le chloruré sodique, le sulfaté calcique et le bicarbonaté calcique ; la répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques.

#### V.10.5. Indice de saturation :

- les minéraux carbonatés présentent des degrés de saturation différents. En effet, celui de l'aragonite varie de  $-0.44$  à  $+0.25$ , suivi par celui de la calcite qui varie de  $-0.3$  à  $+0.39$  et enfin celui de la dolomite qui varie de  $-1.59$  à  $-1.3$ .
- Si l'on admet que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de  $-0.5$  à  $+0.5$ , on peut dire que les trois minéraux ont atteint leur état d'équilibre et non pas celui de la sursaturation.

La répartition dans l'espace de ces indices montre une augmentation des concentrations dans deux sens, pour la calcite et l'aragonite : la première à partir des bordures vers l'axe de la nappe et la seconde dans le sens de l'écoulement du Sud-Ouest vers le Nord-Est (figure V.38). Par contre, la concentration de la dolomite montre une évolution inverse à celles des deux minéraux précédents, ce qui confirme l'origine gypsifère et évaporitique du calcium et non pas celle carbonatée.

• Les minéraux évaporitiques montrent des degrés de saturation plus faibles que les minéraux carbonatés (figure V.38). Le gypse enregistre des indices qui varient de  $-1.61$  à  $-0.08$  OÙ (70% des points d'eau analysés n'ont pas atteint le degré de saturation), suivi de l'anhydrite dont l'indice varie de  $-1.83$  jusqu'à  $-0.29$  (83% des puits sont sous-saturés) et enfin l'halite dont les indices varient de  $-7.34$  à  $-5.02$  (donc très sous saturés)

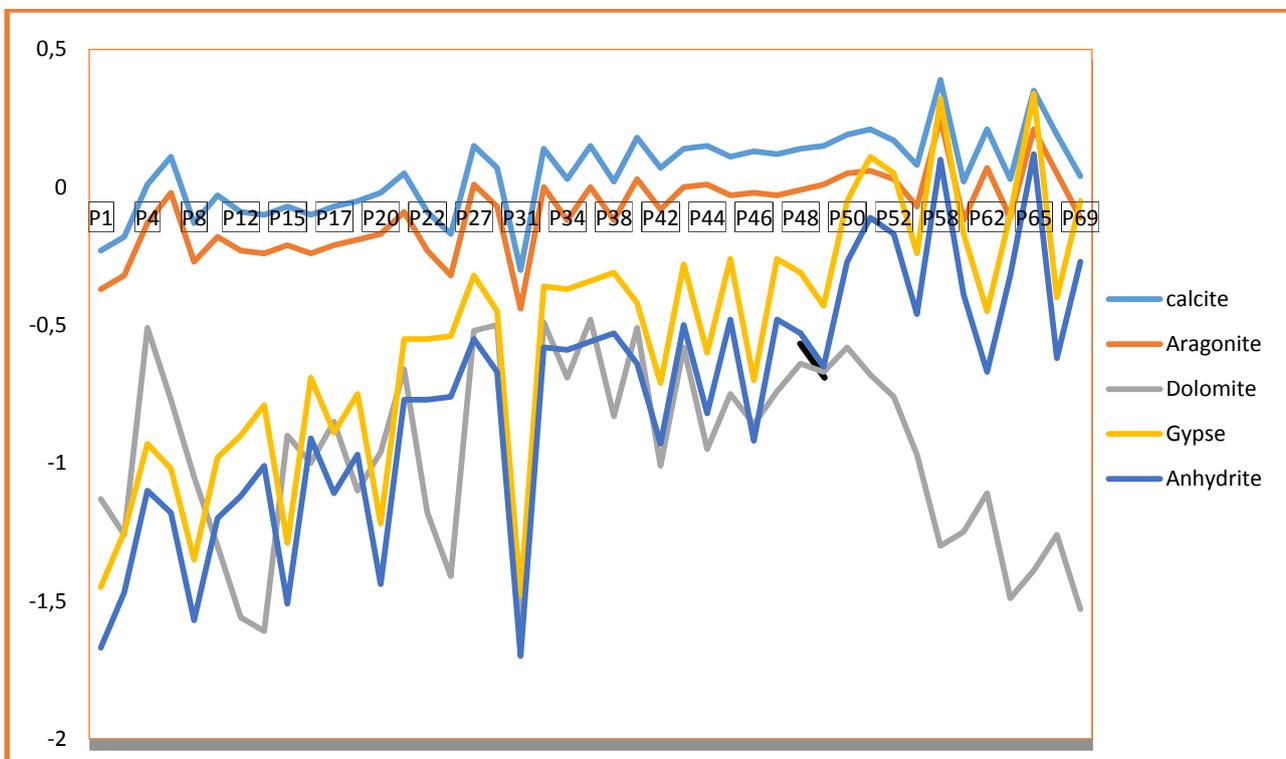


Figure : V. 38 Variation de l'indice de saturation des minéraux, mars 2016

**Tableau V.4 : Évolution des indices de saturation des minéraux des campagnes de l'année 2016**

| <b>Mars 2016</b> |                 |                     |           |          |                       |           |
|------------------|-----------------|---------------------|-----------|----------|-----------------------|-----------|
|                  |                 | Minéraux carbonatés |           |          | Minéraux évaporitique |           |
| Point d'eau      | Faciès chimique | calcite             | Aragonite | Dolomite | Gypse                 | Anhydrite |
| P1               | BC              | -0,23               | -0,37     | -1,13    | -1,45                 | -1,67     |
| P3               | BC              | -0,18               | -0,32     | -1,26    | -1,25                 | -1,47     |
| P4               | CC              | 0,01                | -0,13     | -0,51    | -0,93                 | -1,1      |
| P6               | CC              | 0,11                | -0,02     | -0,77    | -1,02                 | -1,18     |
| P8               | BC              | -0,13               | -0,27     | -1,05    | -1,35                 | -1,57     |
| P10              | CC              | -0,03               | -0,18     | -1,3     | -0,98                 | -1,2      |
| P12              | CC              | -0,09               | -0,23     | -1,56    | -0,9                  | -1,12     |
| P13              | CC              | -0,1                | -0,24     | -1,61    | -0,79                 | -1,01     |
| P15              | BC              | -0,07               | -0,21     | -0,9     | -1,29                 | -1,51     |
| P16              | CC              | -0,1                | -0,24     | -1       | -0,69                 | -0,91     |
| P17              | CS              | -0,07               | -0,21     | -0,85    | -0,89                 | -1,11     |
| P18              | CS              | -0,05               | -0,19     | -1,1     | -0,75                 | -0,97     |
| P20              | BC              | -0,02               | -0,17     | -0,96    | -1,22                 | -1,44     |
| P21              | CS              | 0,05                | -0,09     | -0,66    | -0,55                 | -0,77     |
| P22              | SS              | -0,09               | -0,23     | -1,18    | -0,55                 | -0,77     |
| P23              | CS              | -0,17               | -0,32     | -1,41    | -0,54                 | -0,76     |
| P27              | CC              | 0,15                | 0,01      | -0,52    | -0,32                 | -0,55     |
| P29              | CS              | 0,07                | -0,07     | -0,5     | -0,45                 | -0,67     |
| P31              | CC              | -0,3                | -0,44     | -1,59    | -1,48                 | -1,7      |
| P32              | CC              | 0,14                | 0         | -0,49    | -0,36                 | -0,58     |
| P34              | CS              | 0,03                | -0,12     | -0,69    | -0,37                 | -0,59     |
| P35              | CC              | 0,15                | 0         | -0,48    | -0,34                 | -0,56     |
| P38              | CS              | 0,02                | -0,12     | -0,83    | -0,31                 | -0,53     |
| P4               | CS              | 0,18                | 0,03      | -0,51    | -0,42                 | -0,64     |
| P42              | SC              | 0,07                | -0,08     | -1,01    | -0,71                 | -0,93     |
| P43              | CC              | 0,14                | 0         | -0,58    | -0,28                 | -0,5      |
| P44              | SC              | 0,15                | 0,01      | -0,95    | -0,6                  | -0,82     |
| P45              | CC              | 0,11                | -0,03     | -0,75    | -0,26                 | -0,48     |
| P46              | CS              | 0,13                | -0,02     | -0,86    | -0,7                  | -0,92     |

Suite :

|     |    |      |       |       |       |       |
|-----|----|------|-------|-------|-------|-------|
| P47 | CC | 0,12 | -0,03 | -0,74 | -0,26 | -0,48 |
| P48 | CC | 0,14 | -0,01 | -0,64 | -0,31 | -0,53 |
| P49 | CC | 0,15 | 0,01  | -0,67 | -0,43 | -0,65 |
| P50 | SC | 0,19 | 0,05  | -0,58 | -0,05 | -0,27 |
| P51 | CC | 0,21 | 0,06  | -0,68 | 0,11  | -0,11 |
| P52 | SC | 0,17 | 0,03  | -0,76 | 0,05  | -0,17 |
| P54 | CC | 0,08 | -0,07 | -0,97 | -0,24 | -0,46 |
| P58 | SC | 0,39 | 0,25  | -1,3  | 0,32  | 0,1   |
| P60 | CC | 0,02 | -0,12 | -1,25 | -0,17 | -0,39 |
| P62 | CC | 0,21 | 0,07  | -1,11 | -0,45 | -0,67 |
| P64 | CC | 0,03 | -0,11 | -1,49 | -0,1  | -0,32 |
| P65 | CC | 0,35 | 0,21  | -1,39 | 0,34  | 0,12  |
| P68 | CC | 0,19 | 0,05  | -1,26 | -0,4  | -0,62 |
| P69 | CC | 0,04 | -0,11 | -1,53 | -0,05 | -0,27 |

### V.11 Classification des eaux d'irrigation:

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles et sur la préservation des sols. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que peut présenter certains éléments chimiques pour la santé publique, pour les plantes et enfin pour les sols.

Pour cela, on utilise la méthode du S.A.R : ce paramètre comme étant une détermination du pouvoir d'échange des ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , par le  $\text{Na}^+$ , dans les argiles et les colloïdes. Il est défini par la relation de Richard (1954) :

$$\text{S.A.R} = \frac{\text{Na}}{\frac{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}}{2}}$$

Avec :  $\text{Na}^+$ : concentration de Na (me/l).

$\text{Ca}^{++}$ : concentration de Ca (me/l).

$\text{Mg}^{++}$ : concentration de Mg (me/l).

La combinaison du S.A.R et de la conductivité électrique de l'eau permet de faire la classification de l'eau d'irrigation.

Tableau V.5: la classification de l'eau d'irrigation.

| Point d'eau | SAR       | Point d'eau | SAR       |
|-------------|-----------|-------------|-----------|
| P1          | 0,58065   | P35         | 3,4373701 |
| P3          | 1,1464666 | P38         | 5,9203491 |
| P4          | 1,6365729 | P41         | 6,1795949 |
| P6          | 1,8658531 | P42         | 1,6674609 |
| P8          | 0,6169323 | P43         | 3,712239  |
| P10         | 2,089282  | P44         | 1,9379746 |
| P12         | 1,745902  | P45         | 4,0621186 |
| P13         | 2,4225875 | P46         | 2,8321536 |
| P15         | 0,8506872 | P47         | 4,0036112 |
| P16         | 3,0481225 | P48         | 3,7381458 |
| P17         | 5,328377  | P49         | 3,0366755 |
| P18         | 5,6192107 | P50         | 3,6026714 |
| P20         | 1,0294382 | P51         | 3,5931203 |
| P21         | 4,7088518 | P52         | 3,8728383 |
| P22         | 6,2642126 | P54         | 3,9962664 |
| P23         | 6,4930987 | P58         | 3,1735762 |
| P27         | 3,4574133 | P60         | 4,5818658 |
| P29         | 5,8376695 | P62         | 3,4133276 |
| P31         | 1,3247763 | P64         | 5,0654913 |
| P32         | 3,3485082 | P65         | 3,3325577 |
| P34         | 6,0379572 | P68         | 3,5822942 |
|             |           | P69         | 5,4477577 |

### V.12 Diagramme de Wilcox :

Pour la classification des eaux d'irrigation on a utilisé le diagramme de Wilcox, ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux souterraines sur leur aptitude à l'irrigation.

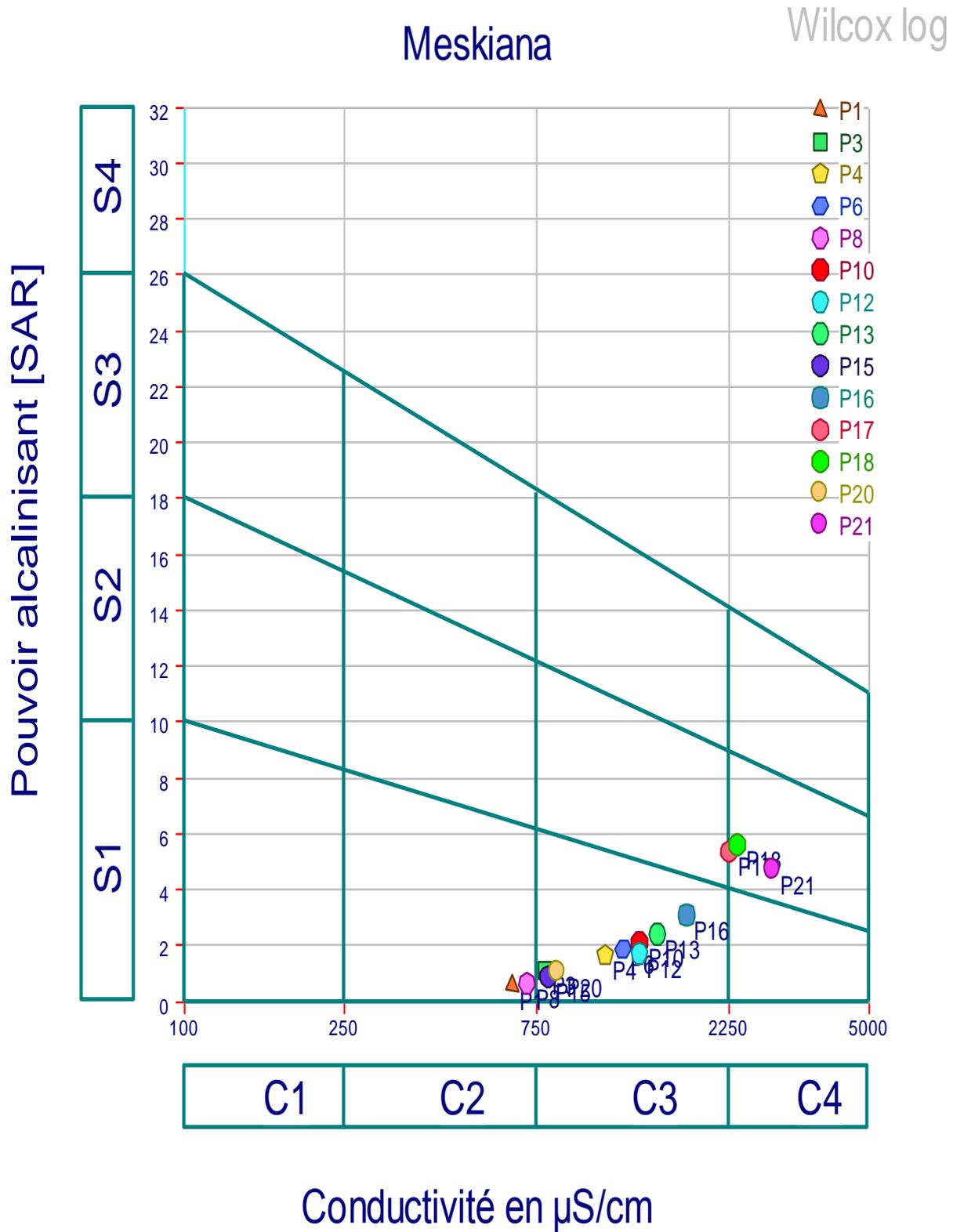


Figure V.39: Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Meskiana mars2016

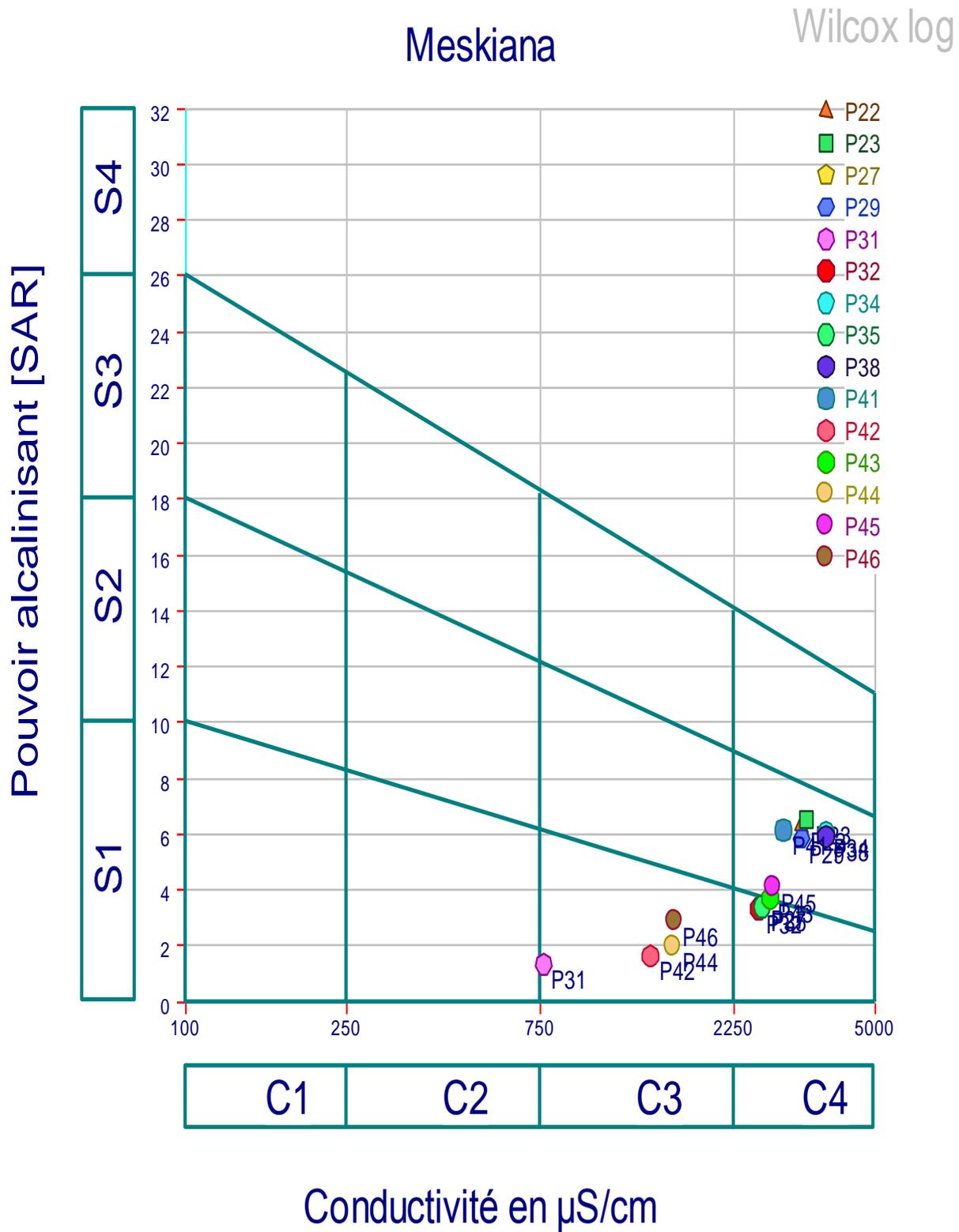
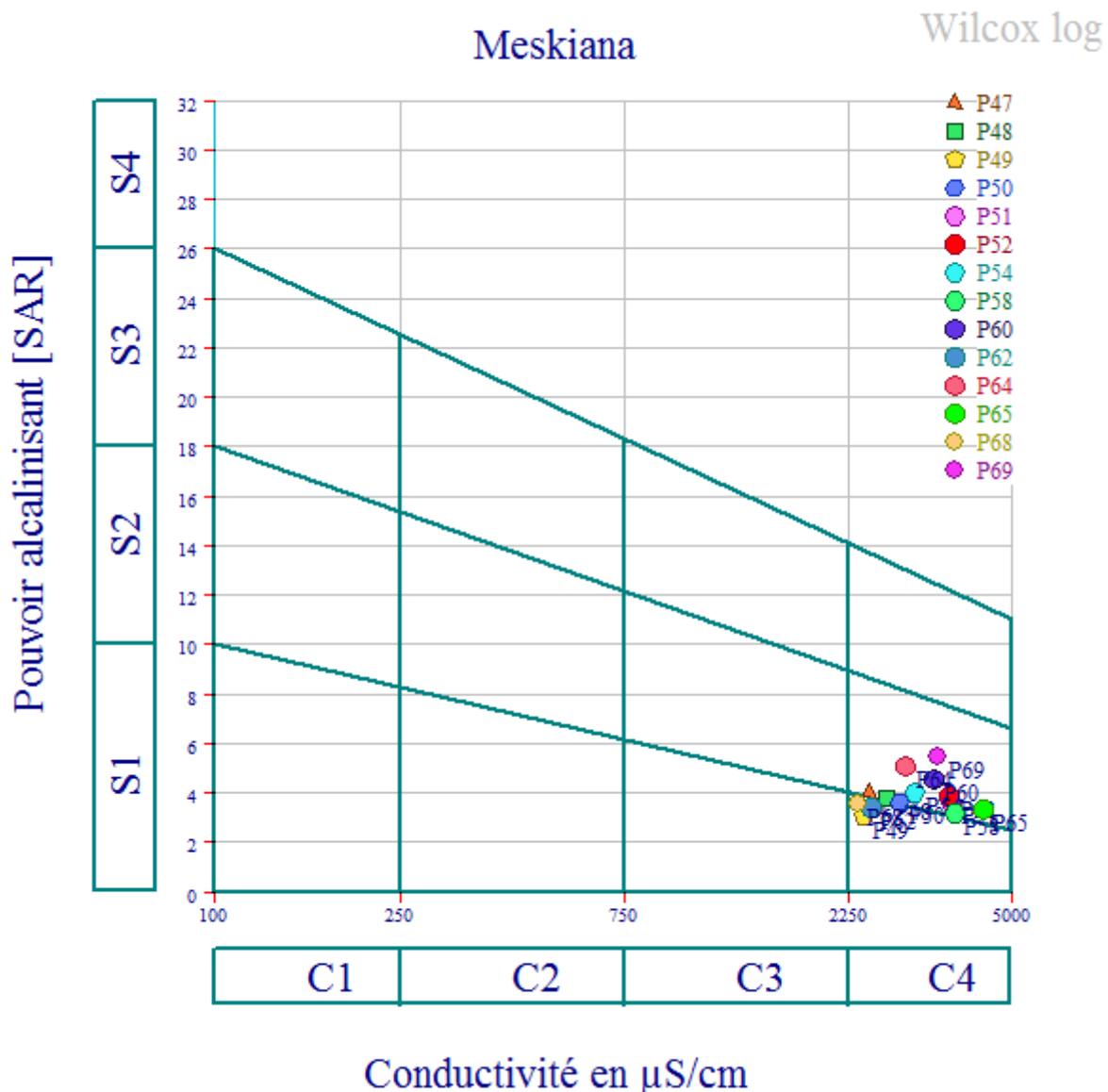


Figure V.40: Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Meskiana mars2016



**Figure V.41: Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Meskiana mars 2016**

Les échantillons représentés sur le diagramme de Wilcox se répartissent en quatre groupes:

- 1) Bonne (C2S1): représente les eaux de faible minéralisation qui sont issues des formations carbonatées de bordures
- 2) Admissible (C3S1): Elle englobe, généralement les eaux moyennement minéralisées avec des risques de salinisation moyens et de faible alcalisation ;
- 3) Médiocre C4S1 : Cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne

Il apparaît donc que les eaux souterraines de la nappe de Meskiana sont d'une salinité souvent inutilisable pour l'irrigation. Il est à noter l'inexistence des deux premières classes de la CE à savoir : C1 ( $0 \text{ mS}/\text{cm} < \text{CE} < 0,25 \text{ mS}/\text{cm}$ ) et C2 ( $0,25 \text{ mS}/\text{cm} < \text{CE} < 0,75 \text{ mS}/\text{cm}$ ). La classification classique de Wilcox montre que la meilleure classe de ces eaux est (C2S1) avec deux échantillons (4.65%) représente les eaux de faible minéralisation qui sont issues des formations carbonatées de bordures et la classe C3S1 de qualité admissible avec 14 échantillons (32.7 %). La classe C4S1 avec 25 échantillons (62.7%). Ce sont Les classes qui sont caractérisée par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne.

## V.13 ANALYSE STATISTIQUE (APPLICATION DE L'ACP):

### V.13.1 Introduction :

La représentation graphique des éléments chimiques et l'étude des rapports caractéristiques ont montré qu'un grand nombre de paramètres chimiques et physico-chimiques 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).

### V.13.2 Principe:

Chaque échantillon d'eau d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique.

Les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques. Chacune des six campagnes analysées au cours des trois années (2002, 2003 et 2004) a donc été traitée statistiquement grâce à l'utilisation du logiciel SPAD.

Notre présente étude porte sur les éléments majeurs, qui influent sur l'évolution de la minéralisation. On a inclus la conductivité électrique, dont l'évolution dépend de cette dernière.

### V.13.3 Matrice de corrélation:

L'examen du tableau 19 relatif à la matrice de corrélation permet de voir que pratiquement toutes les variables sont corrélées entre elles. Il existe une forte corrélation entre la conductivité électrique d'une part et les sulfates, le sodium, le calcium et les nitrates d'autre part.

**Tableau.V.6: Matrice de corrélation entre les variables.**

|      | Cl    | SO4   | HCO3  | Na    | Ca    | Mg    | K     | TDS   | CE    | pH   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Cl   | 1,00  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| SO4  | 0,77  | 1,00  |       |       |       |       |       |       |       |      |
| HCO3 | -0,43 | -0,39 | 1,00  |       |       |       |       |       |       |      |
| Na   | 0,93  | 0,76  | -0,37 | 1,00  |       |       |       |       |       |      |
| Ca   | 0,62  | 0,90  | -0,46 | 0,58  | 1,00  |       |       |       |       |      |
| Mg   | 0,38  | 0,33  | 0,25  | 0,42  | -0,01 | 1,00  |       |       |       |      |
| K    | 0,77  | 0,76  | -0,53 | 0,78  | 0,61  | 0,24  | 1,00  |       |       |      |
| TDS  | 0,92  | 0,95  | -0,40 | 0,90  | 0,84  | 0,37  | 0,80  | 1,00  |       |      |
| CE   | 0,89  | 0,94  | -0,39 | 0,89  | 0,83  | 0,38  | 0,80  | 0,98  | 1,00  |      |
| pH   | -0,47 | -0,72 | 0,29  | -0,35 | -0,73 | -0,05 | -0,42 | -0,64 | -0,63 | 1,00 |

D'autres corrélations moins significatives entre la conductivité électrique d'une part et les bicarbonates permettent de dire que la salinité de l'eau est beaucoup plus due aux formations salifères telles que le gypse, l'anhydrite, le sel gemme, la sylvinite, ...

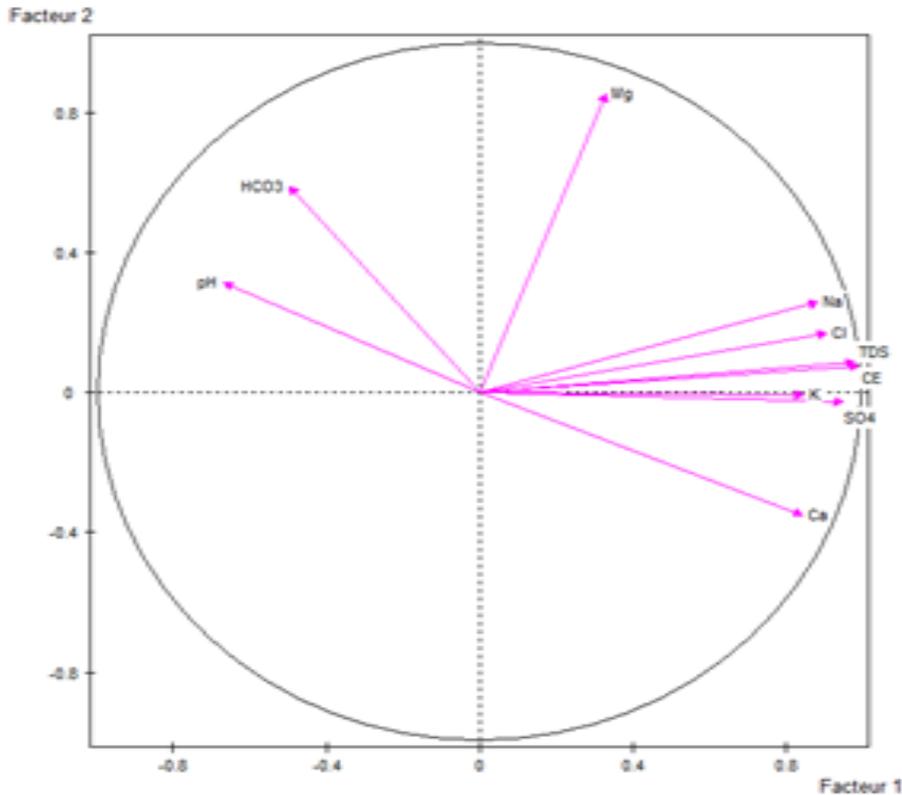
La forte liaison qui existe entre les sulfates et le calcium confirme cette tendance.

Les nitrates sont bien corrélés avec le sodium suite à l'utilisation abusive des engrais type N PK.

### V.13.4.1 Analyse de l'espace des variables (fig.V42) :

La projection des variables sur le plan factoriel F1-F2 montre que l'axe F1 exprime 66.91 % de la variance et il est déterminé par,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , et  $\text{Na}^{++}\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et la conductivité. Il oppose donc les eaux minéralisées aux eaux faiblement chargées.

Le facteur F2 vertical exprime 14.17% de la variance. Il n'est déterminé d'une manière positive que par le magnésium.

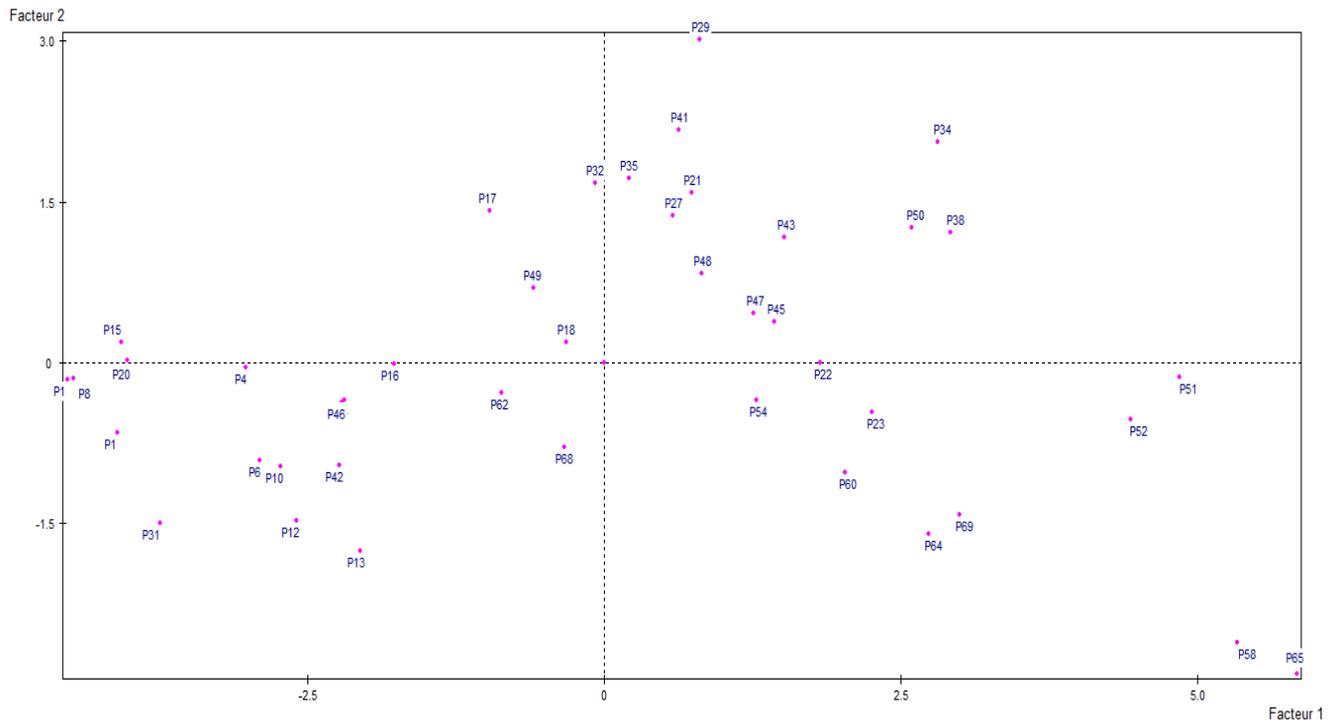


**Figure.V.42: Espace des variables de l'ACP globale.**

### V.13.4.2 Analyse de l'espace des individus (fig.V.43)

La projection des individus sur le plan F1-F2 a révélé que :

- L'axe F1 montre l'opposition entre les eaux faiblement minéralisées se trouvant à l'amont de l'aquifère et les eaux fortement minéralisées qui se trouvent à l'aval.
- l'axe F2 montre également une opposition entre les eaux riches en magnésium et les eaux faiblement chargées en cet élément. Les premières se localisent en amont de la nappe et à la proximité des bordures, et les secondes se situent au centre et au Nord-Est de la nappe dans l'exutoire de celle-ci.



**Figure.V.43: Espace des individus**

#### **V.14 Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards :**

Dans le but de mettre en relief l'effet de la lithologie sur l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous avons cartographié la qualité des eaux à l'irrigation qui englobe le maximum de puits. La répartition de cette qualité a fait apparaître trois classes:

- ✓ Bonne (C2S1): Elle se localise dans la région de Dalâa à l'amont de la nappe et représente les eaux de faible minéralisation qui sont issues des formations carbonatées de bordures ;
- ✓ Admissible (C3S1- C3S2): Elle englobe, généralement les eaux moyennement minéralisées avec des risques de salinisation moyens et de faible alcalisation ;
- ✓ Médiocre (C4S1- C4S2) : Cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne. On la rencontre au centre et au Nord de la plaine

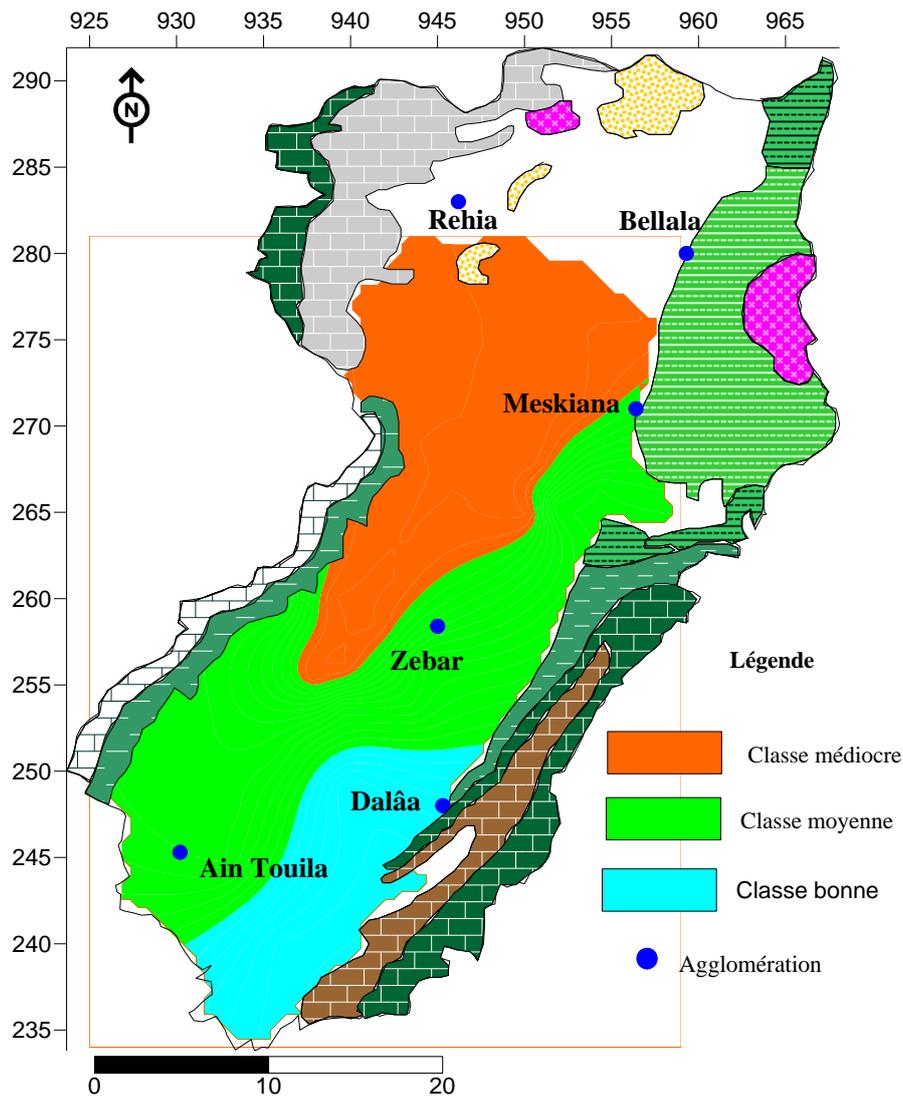


Figure V.44 : Carte d’aptitude des eaux à l’irrigation selon la classification de Richards, pour la nappe de Meskiana

**V.14.1 Classification des eaux par la méthode de Wilcox :**

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l’eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l’irrigation (figure V.44 V.45 V.46). Le %Na<sup>+</sup> est définie par la relation :

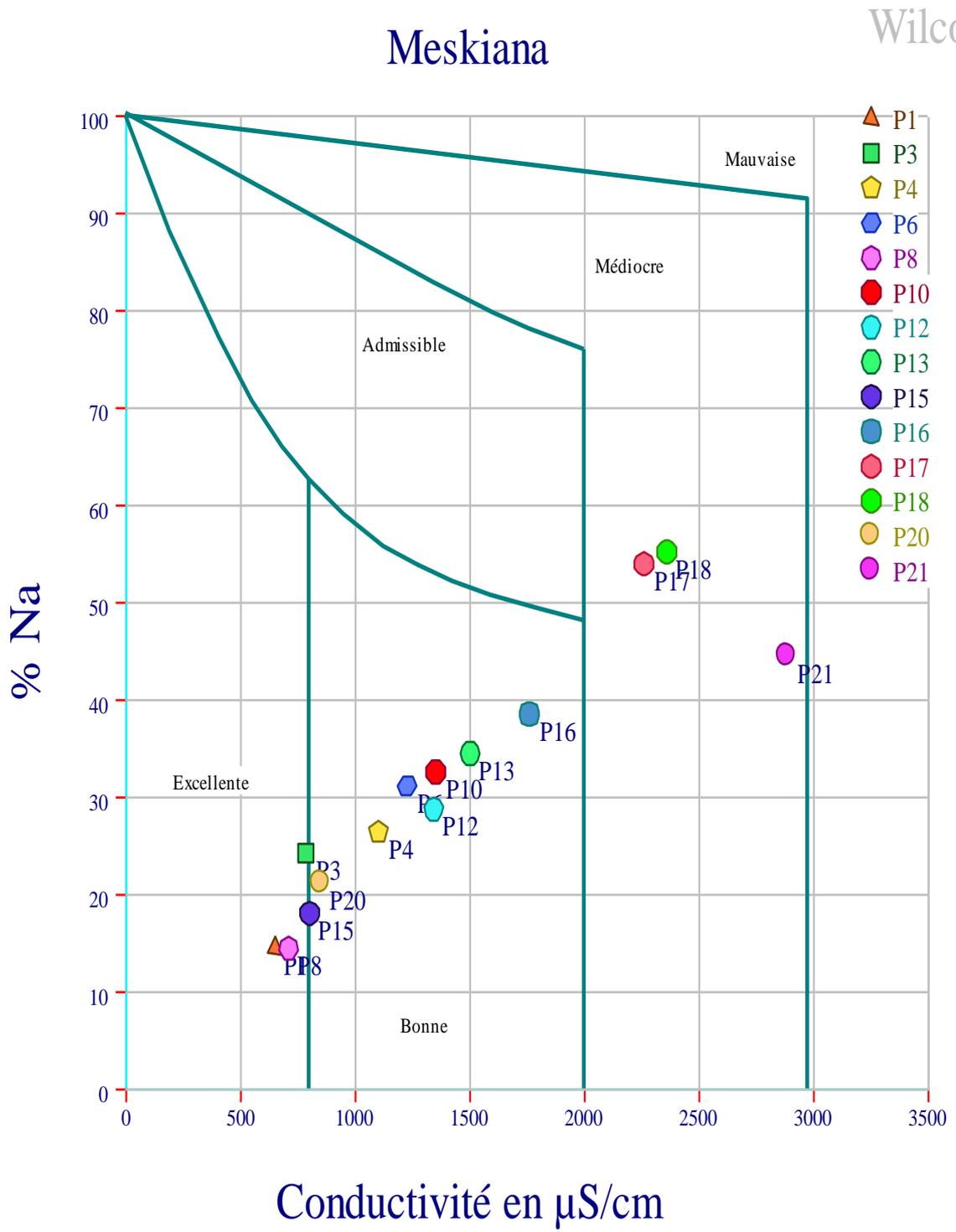


Figure V.44 : Diagrammes de Wilcox

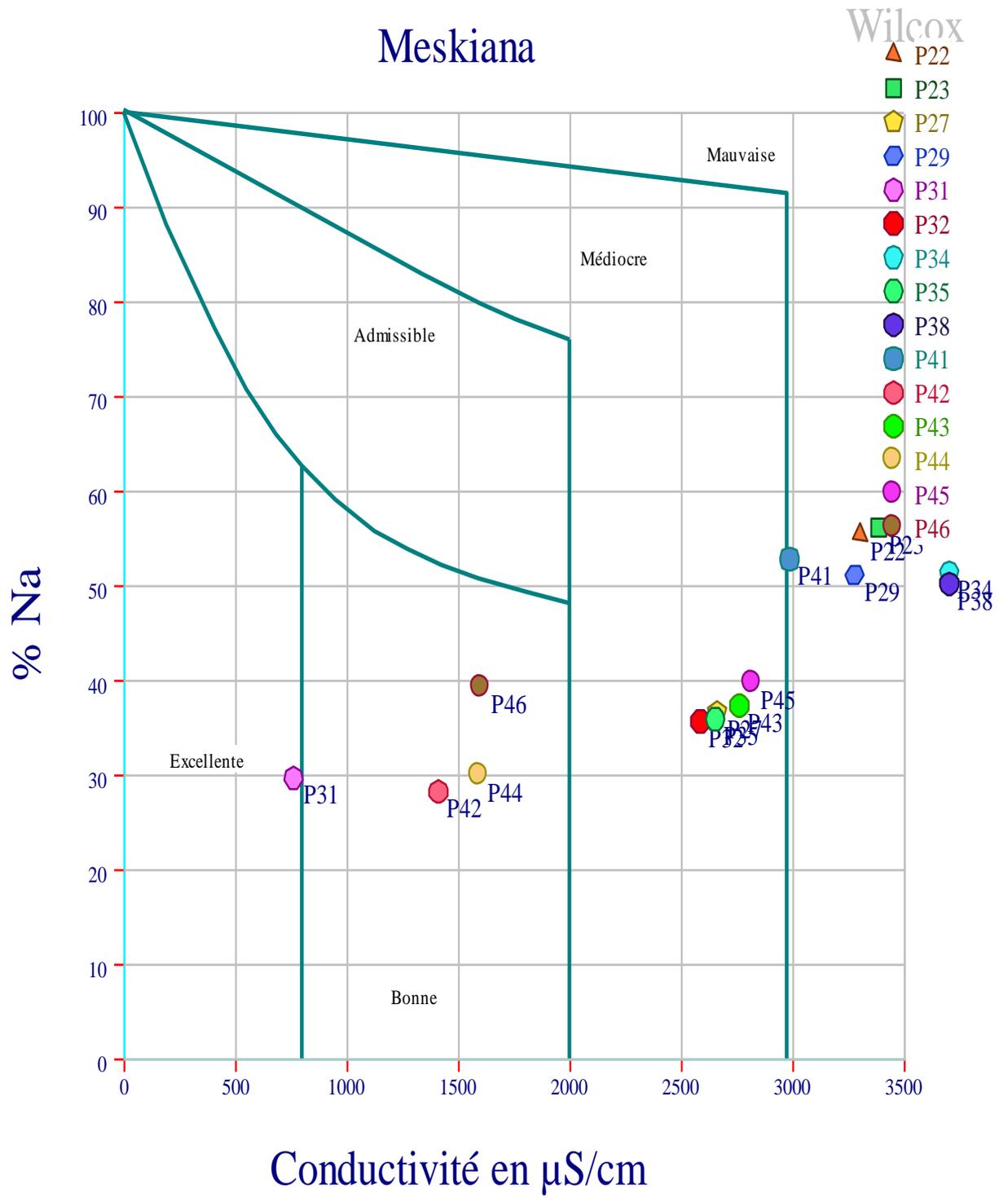


Figure V.45 : Diagrammes de Wilcox

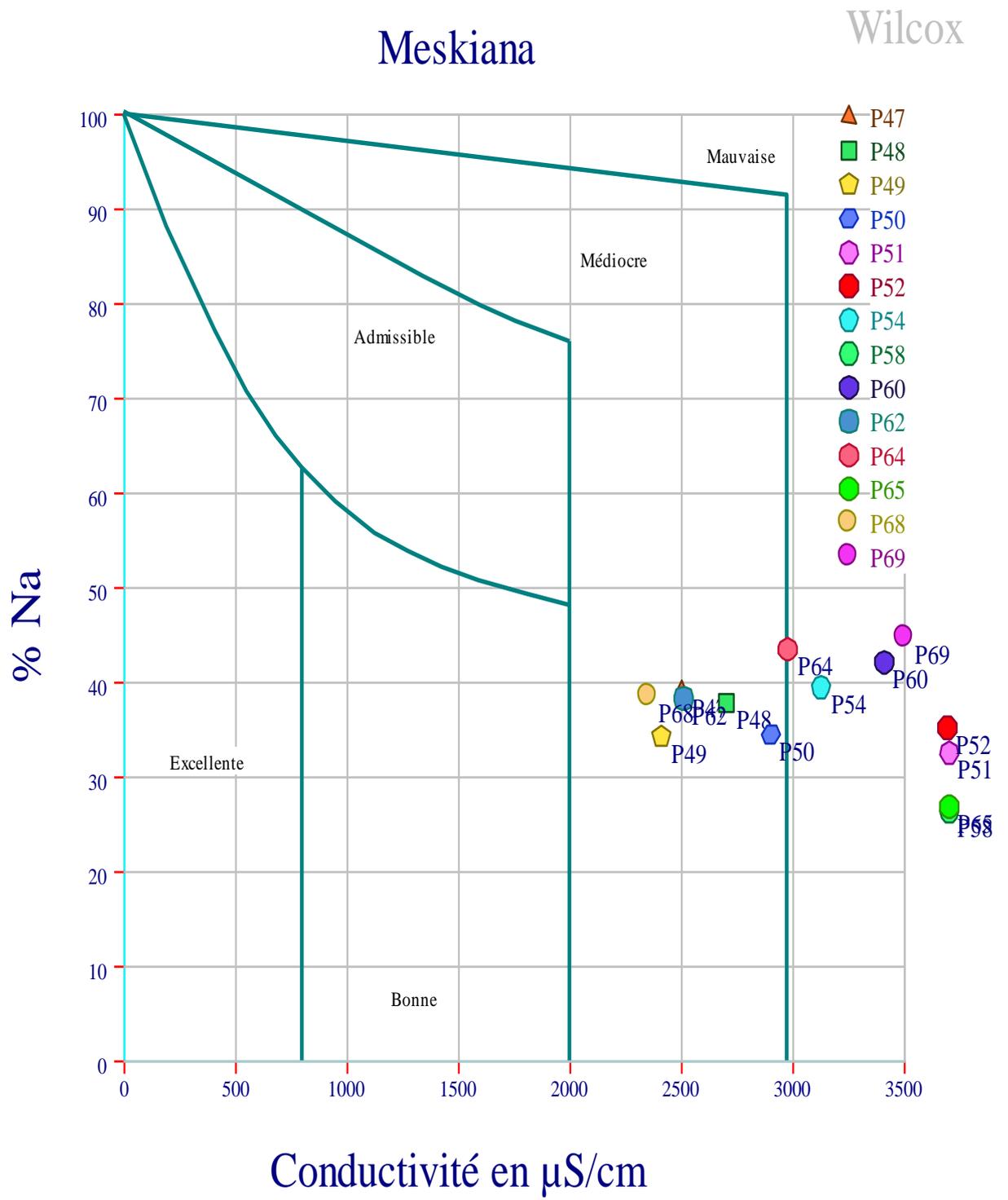


Figure V.46: Diagrammes de wilcox

Les diagrammes couvrant toute la période d'observation montrent que les eaux souterraines de la nappe de Meskiana, selon la classification de Wilcox, appartiennent aux quatre classes : Excellente, Bonne, Médiocre et Mauvaise (tableau V.16).

**Tableau.V.7: Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Wilcox.**

|            | Mars 2016       |
|------------|-----------------|
|            | <b>43 puits</b> |
| Excellente | 11.62%          |
| Admissible | 27.90%          |
| Médiocre   | 30.23%          |
| Mauvaise   | 30.23%          |

- ✓ La classe Excellente : Cette elle caractérise les eaux provenant des formations carbonatées de bordures, surtout dans la région de Dalaâ ;
- ✓ La classe Bonne : Elle regroupe les eaux qui sont faiblement minéralisées, on la rencontre à proximité des bordures dans les régions de Dalaâ et Zebar ;
- ✓ La classe Médiocre : Elle regroupe les eaux plus minéralisées que celles des classes précédentes, elle se manifeste au centre, au sud Ouest et au Nord-Est de la plaine.
- ✓ La classe Mauvaise : Elle regroupe les eaux qui se situent au centre et au Nord de la plaine. Elle est la plus répandue dans la nappe (54.84 %).

On constate que les eaux souterraines subissent une dégradation selon le sens de l'écoulement, montrant ainsi l'effet de la lithologie sur leur qualité (figure V.47).

**Remarque :** En examinant les deux cartes d'aptitude des eaux à l'irrigation établies à l'aide des deux méthodes de Richards et Wilcox, on remarque qu'elles présentent la même distribution de la qualité. En effet, la classe 'bonne', donnée par la première méthode, correspond à celles 'excellente' et 'bonne' ; donnée par la deuxième méthode. La classe admissible, définie par la méthode de Richards correspond aux classes, 'bonne', et 'médiocre' définies par la méthode de Wilcox. La classe 'mauvaise', est déterminée par les deux classifications.

## V.15. CONCLUSION

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que :

- L'écoulement souterrain se fait, en général, selon une direction Sud-Ouest - Nord-Est, avec un axe de drainage qui coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Meskiana.
- L'allure générale des courbes piézométriques est restée constante lors des 06 campagnes d'observations.
- L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques, qui influent sur le battement de la nappe par la recharge durant la période de hautes eaux et l'évaporation pendant la période des basses eaux. La lithologie de la nappe régit l'écoulement, et ce en influant sur la vitesse de circulation.

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

La qualité des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de la plaine de Meskiana, située au Nord-Est de l'Algérie influencé plusieurs paramètres physiques et chimiques, dans cette étude nous avons évalué la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation.

Notre étude a abouti aux conclusions suivantes :

- L'étude géologique du bassin de Meskiana a montré que les formations carbonatées de bordure sont d'âge Crétacé. Les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaire occupent la totalité de la plaine.
- L'activité tectonique a provoqué la formation de plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction orthogonale affectant les formations crétacées.
- L'étude géophysique a pu mettre en évidence l'extension des formations alluvionnaires à l'intérieur de la plaine. Ces formations sont composées de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons. Ces dépôts de remplissage sont très hétérogènes et intercalés de couches conductrices constituées par des marnes et des argiles.

Cet ensemble constitue la nappe phréatique du remplissage alluvial de la plaine de Meskiana.

- Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations moyennes annuelles, sur une période de 21ans (97/98 – 2017/2018), estimées à 394.93 mm, La température moyenne interannuelle est de 27.88°C.
- Le ruissellement ne représente que 3.83 % des précipitations, ce qui représente 15.13mm.
- L'infiltration est estimée à 5.93%. Ce qui permet de percoler 23.43 mm Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.
- La cartographie piézométrique a montré que l'écoulement souterrain se fait, en général, selon une direction Sud-Ouest - Nord-Est.
- L'alimentation se fait à partir des bordures calcaires Dj Guerigueur à l'Est de la plaine.
- La surface piézométrique présente une fluctuation régulière, caractérisée par une baisse durant la période de basses eaux, sous l'effet de l'évaporation, et une remontée pendant la période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe à partir des précipitations.
- Les valeurs les plus importantes de la perméabilité et de la transmissivité se localisent au centre de la plaine et les plus faibles aux bordures. Cette répartition est confirmée par les débits de forages.
- L'étude hydro chimique montre que : La présence de trois faciès chimiques marquant l'hétérogénéité de la lithologie. En effet, on peut citer les faciès chlorurés et sulfaté résultant des formations évaporitiques et salifère, surtout dans la partie Nord-Est de plaine.
- La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe. La dissolution des formations carbonatées évaporitiques sont l'origine de cette distribution.
- Le suivi de la qualité des eaux dans le temps et dans l'espace a montré l'impact de facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux de nappe.
- La comparaison des concentrations des éléments chimiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) qui caractérisent les formations géologiques principales du bassin, a mis en relief la dominance des ions salifères ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) et les ions gypsifères ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) par rapport à ceux carbonatés ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) dans l'acquisition de la salinité.
- Le calcul de l'indice de saturation des minéraux carbonatés et gypsifères a montré que les premiers ont tendance à s'équilibrer avant les seconds, ce qui explique les teneurs importantes des éléments chimiques provenant de la dissolution des gypses.

## Conclusion générale

---

- L'analyse statistique a pu montrer que les eaux souterraines se trouvant en amont de la nappe sont faiblement minéralisées et celles qui se trouvent en aval sont fortement minéralisées.
- Les classifications de Richards et celle de Wilcox ont montré que les eaux de la nappe ne conviennent pas à l'irrigation car elles présentent des conductivités dépassent la norme, Quant à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution de la plaine de Meskiana ont fait apparaître une forte contamination de celle-ci par des nutriments d'origine agricole et par les rejets urbains, qui sont déversés sans aucun traitement préalable, ce qui contribue à la dégradation de la qualité des eaux.