

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Année 2015

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie

## MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

## THÈME

*Hydrodynamique souterraine et transfert des réservoirs profonds  
(couplage architecture stratigraphique vulnérabilité et risque de  
pollution) dans la région de Khenchela*

**Option: Ingénierie des ressources en eau (Hydrogéologie)**

**Présenté par**

**HAMED BOUAFIA**

**DEVANT LE JURY**

<b>Directeur de mémoire: LARABA Abdelaziz</b>	<b>Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)</b>
<b>Président : HANI Azzedine</b>	<b>Professeur (U.B.M. Annaba)</b>
<b>Examineur : BENHAMZA Moussa</b>	<b>Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)</b>
<b>Examineur : DJORFI Saâdane</b>	<b>Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)</b>

# Remerciement

*Merci à Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, la volonté et le courage pour pouvoir réaliser ce modeste travail.*

*Je présente mes grands remerciements à mon encadreur **Dr. Laraba Abdelaziz** pour son aide précieuse, sa grande disponibilité, et les conseils précieux qu'il m'a fournis au cours de mon travail.*

*Je lui remercie pour la confiance et la compréhension qu'il a toujours manifestées à mon égard. Si ce travail est mené à terme, c'est grâce à son aide et soutien. Qu'il soit assuré de ma profonde estime.*

*Ma profonde gratitude et mes sincères remerciements.*

## Résumé

La région de khenchela est connue par son climat variable aride et semi aride .La connaissance de ses réserves d'eaux est obligatoire car ils sont la source principale pour satisfaire ses besoin en eaux (potable, agricole, industriel) .Ces réserves sont généralement stocké dans les nappes aquifères souterraine.

L'étude géologique et stratigraphique nous a amené a délimité trois types des nappes aquifères, l'aquifères quaternaire, miocène et crétacé. qui sont généralement répartie au nord de la région.

L'étude hydrodynamique et hydrogéologique nous a permis de situer les niveaux perméables susceptibles de constituer des nappes profonds et de estimer les réserves prévues et d'avoir une idée sur les capacités peut être exploitées ainsi que le comportement des eaux relatives a la géométrie de ces aquifères.

L'analyse des eaux de la région de khenchela permettant de révéler les facies chimiques prédominant a ces eaux qui sont différent d'une région a une autre et d'une nappe a une autre. et l'interprétation de ces analyses nous conduit de savoir l'origine de ces eaux les principaux facteurs les infectées. La protection de ces nappes contre la pollution faudra une surveillance permanente de ses eaux.

**Mots clés :** réserves, nappes aquifères, souterraine, stratigraphique, hydrodynamique, hydrogéologique, facies chimiques.

## Abstract

The regions Khenchela is known for its arid and semi-arid climate variable. Knowledge of its water reserves is required because they are the main source to meet its need for water (potable, agricultural, industrial). these reserves are usually stored in underground aquifers.

The geological and stratigraphic study led us delineated three types of aquifers, the aquifers quaternary aquifer Miocene aquifer crétacé. who are generally distributed in the northern part of the region.

The hydrodynamic and hydrogeological study has allowed us to set the permeable levels is likely to deep groundwater and estimated reserves and has provided even an idea about the building can be used as well as the behavior of water related to the geometries these aquifers.

The analysis of the waters of the region revealed Khenchela for chemical facies predominates in these waters that are different from one region to another and from one sheet to another. And interpretations of these analyzes led us to know the origin of the infected water main factors. protection of groundwater against pollution these require continuous monitoring of its waters.

**Key words:** water reserves, underground, aquifers, stratigraphic, hydrodynamic, hydrogéological, and chemical facies.

## ملخص

من المعروف أن منطقة خنشلة لها مناخ متغير شبه جاف إلى جاف والتي تعتمد في تلبية حاجتها من مياه الشرب والزراعة والصناعة على مخزونها من المياه الجوفية. ولهذا وجب معرفة احتياطاتها من المياه لأنها المصدر الرئيسي.

قادت الدراسة الجيولوجية والطبقية إلى تحديد ثلاث أنواع من طبقات المياه الجوفية حيث يتم تخزينها في الطبقة الحديثة. طبقة الميوسان. طبقة الكريتاسي. والتي يكون توزيعها بشكل عام في الجزء الشمالي من المنطقة

وقد سمحت الدراسة الهيدروديناميكية والهيدروجيولوجية من ضبط مختلف مستويات المياه وتقدير الاحتياطيات القابلة للتخزين والتي يمكن استغلالها. كما قدمت فكرة عن هندسة الطبقات وكذلك سلوك المياه المتصلة ضمن هذه الخزانات.

وكشفت تحاليل المياه في منطقة خنشلة عن مجموع الصيغ الكيميائية الشائعة في هذه المياه التي تختلف من منطقة إلى أخرى ومن طبقة إلى أخرى. والاستنتاجات الواردة من هذه التحليلات سمحت لنا من معرفة أصل العوامل الرئيسية المكونة لهذه المياه. لحماية المياه الجوفية من خطر التلوث تتطلب مراقبة مستمرة لمياهها.

**الكلمات المفتاح:** مخزون, المياه الجوفية, الجيولوجية الطبقة, الهيدروديناميكية, الصيغة الكيميائية

# SOMMAIRE

Titre	
Dédicace.....	
Remerciements.....	
Résumé.....	
INTRODUCTION.....	01

## Chapitre I

### GEOGRAPHIQUE ET SOCIO ECONOMIQUE

<b>I. 1. Situation Géographique.....</b>	<b>03</b>
<b>I.2.Cadre Administratif.....</b>	<b>03</b>
<b>I.3.Cadre Socio-Economique.....</b>	<b>04</b>
<b>I.4.Industrielle et Agriculture.....</b>	<b>04</b>
I.4.1.Végétation.....	04
I.4.2. Le sol.....	05
I.4.3. Le climat.....	05
<b>I.5.Géomorphologie formé des bassins de la région.....</b>	<b>06</b>
<b>I.6.Réseau Hydrographique.....</b>	<b>07</b>
<b>I.7.Conclusion.....</b>	<b>08</b>

## Chapitre II

### CADRE GEOLOGIQUE

<b>II.1.Introduction .....</b>	<b>09</b>
<b>II.2.Cadre lithostratigraphique.....</b>	<b>12</b>
II.2.1.Trias.....	12
II.2.2.Jurassique.....	12
II.2.3.Crétacé.....	12
II.2.4.Paléogène.....	12
II.2.5.Néogène.....	13
II.2.6.Quaternaire.....	13

<b>II.3.Géologie locale</b> .....	13
<b>II.3.1- Lithostratigraphie</b> .....	13
<b>II.3.1.1-Le Mésozoïque</b> .....	14
<b>II.3.1.2-Le Cénozoïque</b> .....	17
<b>II.3.1.3-Le Quaternaire</b> .....	17
<b>II.3.2-Tectonique locale</b> .....	19
<b>II.4.Conclusion</b> .....	23

## **Chapitre III**

### **ETUDE HYDROCLIMATIQUE**

<b>III.1.Introduction</b> .....	25
<b>III.2.Les paramètres climatiques</b> .....	25
<b>III.2.1.Les précipitations</b> .....	25
<b>III.2.1.1.Répartition moyenne annuelle des précipitations</b> .....	26
<b>III.2.2.La température</b> .....	27
<b>III.3.Relation température précipitation</b> .....	29
<b>III.3.1.Le diagramme Pluvio-Thermique</b> .....	29
<b>III.3.2.Le vent</b> .....	31
<b>III.3.3.Humidité du sol : Méthode DERVERTE</b> .....	31
<b>III.4.Bilan hydrologique</b> .....	32
<b>III.4.1.Evaporation</b> .....	32
<b>III.4.1.1.Evapotranspiration potentielle ETP</b> .....	32
<b>III.4.1.2. Evapotranspiration réelle ETR</b> .....	37
<b>III.4.2. Ruissellement</b> .....	37
<b>III.4.3. Infiltration</b> .....	37
<b>III.5.Conclusion</b> .....	38

## **Chapitre IV**

### **HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE**

<b>IV.1.Introduction</b> .....	39
<b>IV.2.Résultats des différents essais</b> .....	39
<b>IV.2.1.Représentation graphique des données et interprétation</b> .....	40
<b>IV.2.1.1.Droite : débit/rabattement spécifique (<math>S/Q = f(Q)</math>)</b> .....	40

IV.2.1.2.Courbe de descente.....	42
IV.2.1.3.Courbe de remontée.....	42
IV.2.1.4.Interprétation quantitative.....	43
IV.2.1.5.Interprétation des courbes de descente.....	46
IV.2.1.6.Interprétation des courbes de remontée .....	46
<b>IV.3. Paramètres hydrodynamiques.....</b>	<b>49</b>
IV.3.1.La Transmissivité.....	49
IV.3.2.La perméabilité.....	50
IV.3.3.Coefficient d'emménagement.....	51
<b>IV.4.Conclusion.....</b>	<b>51</b>

## **Chapitre V**

### **TRANSFERT HYDRIQUE**

<b>V.1.Introduction.....</b>	<b>52</b>
<b>V.2.Situation de Khenchela par rapport aux bassins versants.....</b>	<b>52</b>
<b>V.3.Identification des nappes aquifères.....</b>	<b>53</b>
V.3.1.Les nappes superficielles.....	53
V.3.2.Les nappes des plaines d'effondrement.....	53
V.3.3.Certaines formations calcaires.....	54
V.3.4.La nappe du complexe terminale et du continental intercalaire.....	54
<b>V.4.Piézométrie des aquifères de la région.....</b>	<b>56</b>
V.4.1.La nappe du Quaternaire.....	57
V.4.2.La nappe du Miocène.....	58
V.4.3.La nappe du Crétacé.....	59
V.4.4.Les zones d'alimentation possible.....	60
<b>V.5.Interprétations des coupes hydrogéologiques.....</b>	<b>61</b>
V.5.1.Coupe N°01.....	61
V.5.2.Coupe N° 02.....	61
<b>V.6.Ressources en eau souterraines.....</b>	<b>63</b>
V.6.1.Les potentialités des aquifères de la wilaya.....	63
V.6.2.Simulation de la piézométrie dans la nappe Quaternaire par un modèle mathématique (Modflow).....	65

V.6.3.Résumé des conséquences de la gestion actuelle sur la situation des eaux souterraines.....	67
V.7.Conclusion.....	67

## Chapitre VI

### QUALITE DES EAUX

VI.1.Introduction.....	68
VI.2.Evolution chimique des eaux souterraines et interprétation hydrogéologique.....	69
VI.2.1.Caractéristiques physiques.....	69
VI.2.1.1.la température.....	69
VI.2.1.2.la conductivité.....	69
VI.2.1.3.Le pH.....	70
VI.2.1.4.le résidu sec.....	71
VI.2.2.Etude des cations.....	71
VI.2.2.1. Le Calcium.....	72
VI.2.2.2.Le Magnésium.....	73
VI.2.2.3.Carte du sodium Na <sup>+</sup> et le potassium K <sup>+</sup> .....	73
VI.2.3.Etude des anions.....	75
VI.2.3.2.Carte des sulfates.....	76
VI.2.3.3.Carte des bicarbonates.....	77
VI.3.Etude des valeurs relatives.....	78
VI.3.1.Minéralisation et caractérisation des faciès chimiques des eaux.....	78
VI.3.2.Classification des eaux.....	79
VI.4. Origine des éléments chimiques.....	85
VI.4.1. Le couple (Na <sup>+</sup> et Cl <sup>-</sup> ).....	85
VI.4.2.Les éléments Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	87
VI.5. Potabilité des eaux.....	88
VI.5.1.Détermination de la qualité d'eau pour l'irrigation.....	88
VI.6.Evaluation de la qualité des eaux des barrages de Foum El Gueiss et Babar.....	91
VI.6.1. Faciès chimiques.....	91
VI.6.2.Les Paramètres Physiques.....	91
VI.6.2.1.La Conductivité et le Résidu Sec.....	91

<b>VI.6.2.2. La Température et Le pH</b> .....	93
<b>VI.6.3. Les éléments majeurs</b> .....	94
<b>VI.6.3.1. Le Calcium</b> .....	94
<b>VI.6.3.2. Le Magnésium</b> .....	94
<b>VI.6.3.3. Le Sodium</b> .....	95
<b>VI.6.3.4. Les Bicarbonates</b> .....	95
<b>VI.6.3.5. Les Chlorures</b> .....	96
<b>VI.6.3.6. Les Sulfates</b> .....	97
<b>VI.7. Vulnérabilité et risque de pollution des eaux</b> .....	98
<b>VI.7.1. Paramètre de pollution dans les eaux souterraines</b> .....	98
<b>VI.7.1.1. Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b> .....	98
<b>VI.7.1.2. Les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b> .....	98
<b>VI.7.1.3. L'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)</b> .....	98
<b>VI.7.2. Les éléments indicateurs de la pollution urbaine dans les eaux de surface</b> .....	99
<b>VI.7.2.1. Les Matières Oxydables</b> .....	99
<b>VI.7.2.2. Le Cycle De L'azote</b> .....	100
<b>VI.8. Origine de la pollution</b> .....	102
<b>VI.8.1. Pollution d'origine domestique et urbaine</b> .....	102
<b>VI.8.2. Pollution d'origine agricole</b> .....	102
<b>VI.8.3. Pollution d'origine industrielle</b> .....	102
<b>VI.8.4. Interprétation la carte de vulnérabilité à la pollution de la région de Khenchela</b> ....	102
<b>VI.9. Conclusion</b> .....	103
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	
<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> .....	

# LISTE DES FIGURES

---

Titre	pages
<b>Figure N° 01 : Carte administrative de la wilaya de Khenchela.....</b>	<b>03</b>
<b>Figure N° 02 : Carte des reliefs de la wilaya de khenchela.....</b>	<b>06</b>
<b>Figure N° 03 : Carte de réseau hydrographique de la wilaya de Khenchela (D'après D.H.W.K) Année 2008 .....</b>	<b>07</b>
<b>Figure N° 04: Principales unités structurales du Nord Ouest de l'Afrique (D'après, G. Busson, 1970) .....</b>	<b>10</b>
<b>Figure N°05 : Coupe géologique à travers le Nord de l'Algérie .....</b>	<b>11</b>
<b>Figure N°06: Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de l'Aurès d'après R. Laffitte (1939) et modifié par R Guiraud.....</b>	<b>18</b>
<b>Figure N° 07: Schéma structurale des AURES (D'après J.M Villa).....</b>	<b>21</b>
<b>Figure N°18: Histogramme des précipitations mensuelles à les stations Khenchela, Babar, Kheirane et Foum toub (1990/2010) .....</b>	<b>26</b>
<b>Figure N°19: répartition spatiale des précipitations annuelles (A.N.R.H, 1992). Cette carte au 1/500.000.....</b>	<b>27</b>
<b>Figure N° 10: Moyenne mensuelle des températures en (°C), Stations de Khenchela et Kheirane (1990/2010).....</b>	<b>28</b>
<b>Figure N°11: Diagramme Pluvio-Thermique à la station de Khenchela (1990/2010).....</b>	<b>29</b>
<b>Figure N°12 : Diagramme Pluvio-Thermique à la station de Kheirane .....</b>	<b>30</b>
<b>Fig Figure N°13: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station Khenchela. 35</b>	
<b>Figure N°14 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station Kheirane .....</b>	<b>36</b>
<b>Figure N° 15: Droite représentative le débit/rabattement spécifique Des forages Fob 07 Oglet Baara et F Kheirane Takanzout respectivement .....</b>	<b>41</b>
<b>Figure N° 16: Droite représentative le débit/rabattement spécifique Des forages P2R02 Remila et Tachekarenet El Hamma respectivement .....</b>	<b>42</b>
<b>Figure N°17: Graphique représentatif des courbes descente et remonte du forage d' El Hamma .....</b>	<b>44</b>
<b>FigureN°18 : Graphique représentatif des courbes descente et remonte du forage de Kheirane Takanzout .....</b>	<b>44</b>
<b>FigureN°19 : Graphique représentatif des courbes descente et courbe remonte du forage de Remila .....</b>	<b>45</b>

<b>FigureN°20 : Graphique représentatif des courbes descente et remonte du forage de Oglet Barra .....</b>	<b>45</b>
<b>FigureN°21 : log lithologique du forage de Kheirane Takanzout ; d'Oglat Baara d'El Hamma .....</b>	<b>47</b>
<b>FigureN°22 : Log Lithologique Des Forages .....</b>	<b>48</b>
<b>Figure N°23: Cartes de situation de Khenchela dans les bassins versants .....</b>	<b>52</b>
<b>Figure N°24 : Carte des nappes aquifères (DHW).....</b>	<b>53</b>
<b>Figure N°25 : A) Cartes d'inventaire dans la nappe du quaternaire. (ANRH 2008).....</b>	<b>57</b>
<b>B) Carte de la piézométrie dans la nappe du quaternaire. (ANRH2008).....</b>	<b>57</b>
<b>Figure N°26 : (A) Cartes d'inventaire dans la nappe du Miocène. (ANRH 2008) .....</b>	<b>58</b>
<b>(B) Cartes piézométrie dans la nappe du Miocène. (ANRH 2008).....</b>	<b>58</b>
<b>Figure N°27 : (A) Cartes d'inventaire dans la nappe du Crétacé. (ANRH 2008).....</b>	<b>59</b>
<b>(B) Cartes piézométrie dans la nappe du Crétacé. (ANRH 2008).....</b>	<b>59</b>
<b>Figure N°28 : Carte synthèse d'écoulements souterrains par Ms Kherici 2005.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure N° 29: Coupe des systèmes aquifères.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure N°30 : Coupe hydrogéologique source DHW .....</b>	<b>62</b>
<b>Figure N° 31: Site de la zone à simuler.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure N°32 : Carte Présente Oued Gueiss et les forages choisie dans la zoneà simuler .....</b>	<b>66</b>
<b>Figure N°33 : Carte présente les courbes piézométriques dans la zone .....</b>	<b>66</b>
<b>Figure N°34 : Carte d'inventaire des points des prélèvements (DHW 2011).....</b>	<b>68</b>
<b>Figure N°35 : Représentation graphique de la température).....</b>	<b>69</b>
<b>Figure N°36 : Représentation graphique des mesures à la conductivité).....</b>	<b>70</b>
<b>Figure N°37 : Représentation graphique du pH).....</b>	<b>70</b>
<b>Figure N°38 : Représentation graphique des teneurs en résidu sec).....</b>	<b>71</b>
<b>Figure N°39 : Carte des classes du Calcium Ca++).....</b>	<b>72</b>
<b>Figure N°40 : Carte des classes du Magnésium Mg++.....)</b>	<b>73</b>
<b>Figure N° 41:Carte des classes du sodium Na+ et le potassium K+)</b>	<b>74</b>
<b>Figure N°42 : Carte des classes du Chlorure Cl-)</b>	<b>75</b>
<b>Figure N°43 : Carte des classes du Sulfate SO4-)</b>	<b>76</b>
<b>Figure N°44 : Carte des classes du Bicarbonates HCO3)</b>	<b>77</b>
<b>Figure N°45: L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques.....</b>	<b>79</b>
<b>Figure N°46 : Diagramme de Piper des eaux souterraines prélevées.....</b>	<b>80</b>
<b>Figure N°47 : Diagramme de Piper des eaux souterraines prélevées.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure N°48: Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux souterraines prélevées.....</b>	<b>82</b>

<b>Figure N°49 : Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux souterraines prélevées.....</b>	<b>83</b>
<b>Figure N°50: Diagramme sur la répartition des faciès chimiques par l'utilisation du rapport (Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>) et (Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).....</b>	<b>84</b>
<b>Figure N°51 : Courbe de Corrélation des ions Na<sup>+</sup> avec les ions Cl<sup>-</sup>.....</b>	<b>85</b>
<b>Figure N°52 : Les différents états des éléments chimiques dans l'eau.....</b>	<b>86</b>
<b>Figure N°53 : Représentation graphique des ions de calcium en fonction des ions de bicarbonate pour déterminer l'origine du calcium.....</b>	<b>87</b>
<b>Figure N°54: Les différentes origines de calcium.....</b>	<b>88</b>
<b>Figure N°55: Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) .....</b>	<b>89</b>
<b>Figure N°56: Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) .....</b>	<b>90</b>
<b>Figure N°57 : Représentation graphique de l'évolution de Conductivité et Résidu sec (2011et 2013)de Foug El Gueiss.....</b>	<b>92</b>
<b>Figure N°58 : Représentation graphique de l'évolution de Cond et Rs (2011et 2013) de Babar.....</b>	<b>92</b>
<b>Figure N°59 : Représentation graphique de l'évolution de pH et T (2011et 2013) de Foug El Gueiss.....</b>	<b>93</b>
<b>Figure N°60 : Représentation graphique de l'évolution de pH et T (2011et 2013) de Babar.....</b>	<b>93</b>
<b>Figure N° 61: Représentation graphique de l'évolution de Ca en (2011et 2013) De Foug El Gueiss et Babar.....</b>	<b>94</b>
<b>Figure N°62 : Représentation graphique de l'évolution de Mg en (2011et 2013) De Foug El Gueiss et Babar.....</b>	<b>95</b>
<b>Figure N°63 : Représentation graphique de l'évolution de Na en (2011et 2013) De Foug El Gueiss et Babar.....</b>	<b>95</b>
<b>Figure N°64 : Représentation graphique de l'évolution de HCO<sub>3</sub> en (2011et 2013) De Foug el Gueiss et Babar.....</b>	<b>96</b>
<b>Figure N°65 : Représentation graphique de l'évolution de Cl en (2011et 2013) De Foug El Gueiss et Babar.....</b>	<b>97</b>
<b>Figure N°66: représentation graphique de l'évolution de SO<sub>4</sub> en (2011et 2013) De Foug El Gueiss et Babar.....</b>	<b>97</b>
<b>Figure N°67 : représentation graphique de l'évolution de DBO<sub>5</sub>, DCO et O<sub>2</sub> (2011et 2013) de Foug El Gueiss.....</b>	<b>99</b>

<b>Figure N°68 : représentation graphique de l'évolution de DBO5, DCO et O2 (2011et 2013) de Babar.....</b>	<b>100</b>
<b>Figure N°69: représentation graphique de l'évolution de NH4, NO2 et NO3 (2011et 2013) de Foum El Gueiss.....</b>	<b>101</b>
<b>Figure N°70 : représentation graphique de l'évolution de NH4, NO2 et NO3 (2011et 2013) de Foum El Gueiss.....</b>	<b>101</b>
<b>Figure N°71: Carte de vulnérabilité à la pollution de la région Khenchela.....</b>	<b>103</b>

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau N° 01: Division administrative de la Wilaya de Khenchela .....</b>	<b>03</b>
<b>Tableau N°2 : Log stratigraphique de la région de Khenchela.....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau N°03: Coordonnées des stations de mesure des paramètres climatiques.....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau N°04: Moyenne mensuelle des précipitations en (mm), des stations de Khenchela, Babar, Kheirane et Foum-Toub période de (1990/2010) .....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau N°05: Moyenne mensuelle des températures en (°C), Stations de Khenchela et Kheirane (1990/2010) .....</b>	<b>27</b>
<b>Tableau N°06: Les précipitations saisonnières pour les deux stations.....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau N° 07: Rapports P/T mensuels et les régimes correspondants dans les deux stations.....</b>	<b>32</b>
<b>Tableau N°08: Valeurs des indices thermiques mensuels dans les deux stations.....</b>	<b>33</b>
<b>Tableau N°09: Valeurs de l'évapotranspiration potentielle dans les deux stations.....</b>	<b>33</b>
<b>Tableau N°10 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite a la station de Khenchela.....</b>	<b>35</b>
<b>Tableau N°11 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite a la station de Kheirane.....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau N°12: Les résultats calculé.....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau N° 13 : Données des essais de pompage par palier des forages.....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau N°14 : Données des essais de pompage définitif des forages.....</b>	<b>43</b>
<b>Tableau N° 15: Valeurs des Transmissivités.....</b>	<b>49</b>
<b>Tableau N°16 : Valeurs des perméabilités.....</b>	<b>50</b>
<b>Tableau N°17 : Les formations aquifères au niveau de la région de Khenchela.....</b>	<b>55</b>
<b>Tableau N° 18 : Prélèvements d'eau par nappe (Inventaire ANRH 2008) .....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau N°19 : Schéma de fonctionnement du système aquifère.....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau n° 20: Les limites de la zone de simulation.....</b>	<b>65</b>
<b>Tableau N ° 21: Représentation des formules ionique et des faciès correspondants.....</b>	<b>91</b>
<b>Tableau N°22 : Classe de la qualité des eaux d'après L'OMS Des éléments indicateurs de la pollution.....</b>	<b>99</b>

## INTRODUCTION GENERALE

L'utilisation de l'eau se développe avec le développement du territoire, le manque d'eau est devenu un problème capital vécu par toutes les sociétés. En effet, l'augmentation des besoins d'eau est conséquente à l'accroissement des populations et le développement des agglomérations, des unités industrielles, des terres cultivées et les changements climatiques.

Dans ce contexte, la région de kenchela, située à l'Est de l'Algérie, renferme dans son sous-sol un potentiel hydrique d'une grande importance localisé dans des nappes aquifères de différentes formations. La présente étude s'ajoute à d'anciens travaux de recherche pour donner un aperçu scientifique sur l'état actuel des nappes de Khenchela. Il est essentiel d'analyser sur le plan qualitatif et quantitatif les réserves en eau et de trouver le moyen de bien gérer les ressources.

L'objectif principal de cette recherche s'articule autour de six chapitres :

- φ **Le premier chapitre** concerne l'étude du contexte structural de la région d'étude. L'objectif de ce chapitre est de délimiter la zone d'étude et d'identifier ses caractéristiques morphologiques, le relief, le sol, le climat le couvert végétal, et réseau hydrographie.
- φ **Le deuxième chapitre** est consacré à l'évaluation des différents contextes géologiques et l'identification des différentes aquifères et d'avoir une idée précise sur la lithologie des terrains et par la suite la tectonique locale de la région.
- φ **Le troisième chapitre** détermine l'évaluation des différents termes du bilan hydrologiques en s'appuyant essentiellement sur les relevés pluviométriques et de températures effectués en différentes stations de mesure. L'objectif de cette étude est de calculer la lame d'eau précipité et quantifie les réserves mobilisables en calculant le bilan hydrique.
- φ **Le Quatrième chapitre** traite les données des quatre pompages d'essai effectués dans les forages pour déterminer les paramètres hydrodynamiques (transmissivité, coefficient d'emmagasinement. Perméabilité) des principaux nappes aquifères. L'interprétation des données de pompages d'essai sera effectuée en tenant compte des particularités hydrogéologiques
- φ **Le Cinquième chapitre** concerne l'étude des transferts des eaux souterraines dans les réservoirs profonds est basée sur les cartes piézométriques. Les sens

d'écoulements, le gradient hydraulique après avoir déterminé la géométrie de chacune des nappes. Les coupes hydrogéologiques nous ont permis d'identifier les formations aquifères dans la région.

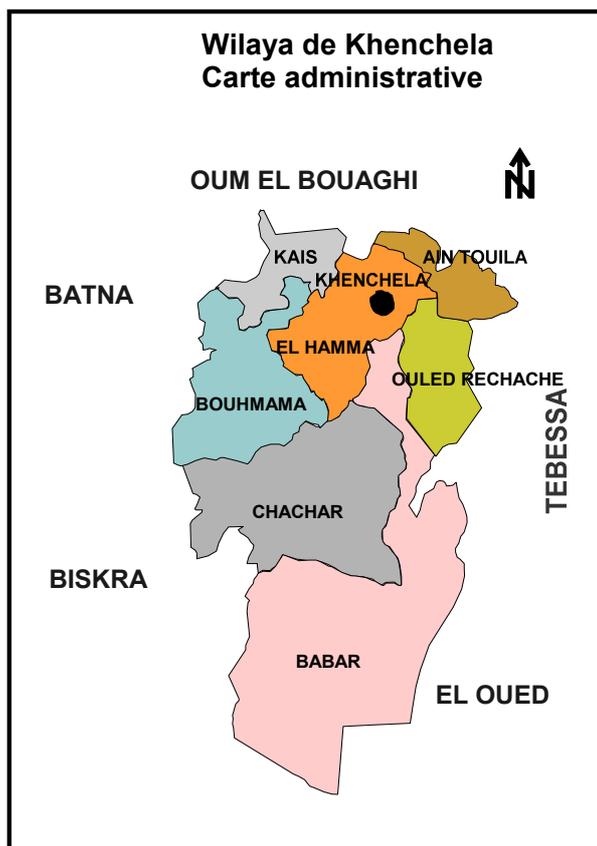
φ **le Sixième chapitre.** L'interprétation des analyses de 17 forages implantés dans la région d'étude révèle les faciès chimiques existant dans les eaux ainsi que l'origine des éléments majeurs par l'interprétation des rapports caractéristiques en se basant sur la représentation graphique des données numériques (des cartes et des graphes) et les résultats de l'étude géologique et les sens d'écoulements des eaux dans les nappes. Enfin on essaie de donner un aperçu sur la vulnérabilité et le risque de pollutions des eaux dans cette région.

**I.1.Situation géographique :**

La région de Khenchela est située à l’Est à L’extrémité du massif des Aurès à 120 Km au S.E de Constantine.

Et confine avec les wilayas de:

- Au Nord par la wilaya d'Oum el Bouaghi,
- Au N-W par la wilaya de Batna,
- Au S-W par la wilaya de Biskra,
- A L'Est par la wilaya de Tebessa,
- A« Sud par la wilaya d'El Oued.



**Figure N° 01 : Carte administrative de la wilaya de Khenchela.**

**I.2.Cadre administratif:** Actuellement le territoire de la wilaya est composé de 21 communes regroupées en huit Daïra (dont 05 Daïra créées en 1990).

**Tableau N° 01: Division administrative de la Wilaya de Khenchela.**

Daïra	Communes
Khenchela (C.L.W)	Khenchela
El-Hamma	EL-Hamma, N’sigha, Tamza, Baghai
Ain-Touila	Ain-Touila, M’Toussa
Kais	Kais, Taouzient, R’Mila
Bouhamama	Bouhamama, Chelia, M’Sara, Yabous
Babar	Babar
Chechar	Chechar, djellal, Kheirane, Ouldja
O-Rechache	Ouled Rechache, Mahmel

**I.3.Cadre socio-économique :**

La région de Khenchela a été depuis toujours une zone à vocation agro-sylvo-pastorale l'activité principale au niveau de la région demeure l'agriculture avec une superficie de 231 768 ha.

Les terres à haute valeurs agricole sont de 39 000 ha, les terres improductives sont de 150 155 ha (terres improductives 78 900 ha, terres urbanisés 7 236 ha).

Le secteur de l'industrie est faiblement représenté dans la wilaya. Il se constitue de deux unités de production de secteur public et trente et un de la petite et moyenne entreprise privée.

La population de la wilaya a évolué au rythme de la croissance nationale, avec une population estimée à 384 268 habitants en 2008, dont 30% en milieu rurale.

**I.4.Industrielle et Agriculture:**

Pour l'industrie le secteur est faiblement représenté et les entreprises publique sont quasiment inexistantes, le recensement fait état de 04 entreprises publiques dont 02 seulement en activité et 30 unités privées dont 16 en activité avec 766 emplois.

Le secteur de l'agriculture est considéré comme étant la principale activité économique de la wilaya. la superficie agricole utile représente 232.395 has soit 24.10% de la superficie agricole totale de la wilaya, la superficie irriguée est de 196.104 ,l'arboriculture est prédominante se propage au niveau de la zone des Hauts- plateaux et des plaines, la production arboricole connaît une nette évolution due au programme de reconversion de la céréaliculture en arboriculture fruitière.

Le potentiel de développement dans ce secteur se situe dans :

- L'élevage ovin et bovin.
- Les petits élevages.
- L'aliment de bétail.
- L'arboriculture.
- Les pépinières agricoles.

**I.4.1.Végétation:**

Le couvert végétal présente des variations liées à des facteurs écologiques, les hautes plaines (de Kais et de Baghai) on a composée de trois strates : arbres, arbustes et plantes pérennes, La végétation varie selon les différentes régions naturelles. ainsi au niveau des hautes plaines du nord, on rencontre essentiellement des types de végétation basse, armoise ou Chih (Artemesia Helba), Guetaf (Atriplex), Salsola, Jujubier(Zizyphus).

La zone centrale peut être divisée en deux parties : la partie ouest boisée et la partie est (monts des Nementcha) a forêt dégradée, parmi les espèces rencontrées, en plus de la strate arbre (Pin d'Alep, Cèdre, Chêne vert, Pin noir, Cyprès, Frêne), on rencontre également l'Alfa, l'Armoise, Jujubier, Genévrier de Phénicie.

Dans la région sud, formée par les parcours steppiques et sahariens, les principales espèces rencontrées sont: Tarfa (Tamarix), Ratama, Salsola, Accacia, Guetaf (Atriplex) et Sparth.

#### **I.4.2.Le Sol:**

Le sol de la wilaya de Khenchela se distingue par la présence de variétés essentielles de la terre comme suit:

Une terre sédimentaire dans les hauts plateaux au nord.

Une terre calcique dans la région montagneuse centrale.

Une terre souvent sujette a la dénudation en raison des vents soufflant dans la région sud et également ainsi que les dunes de sable dans l'extrême sud.

Parmi les composants essentiels de la terre : la chaux, la boue, le plâtre, le sable et les roches d'argile.

#### **I.4.3.Le Climat:**

La région de Khenchela se spécifie par un climat continental, chaud et sec en été froid et pluvieux en hiver. La moyenne de la pluviométrie au nord se situe entre 400 et 600 mm /an, temps que la moyenne au sud est de 200 mm / an, les régions montagneuses sont couvertes de neige en hiver, on a caractérisé cinq sous étage bioclimatique :

- ✓ **Semi aride inférieur:** de 350 mm à 450 mm, est composé d'une zone naturelle au nord-ouest montagneux.
- ✓ **Arde supérieur:** a partir de 250 mm à 350 mm, représentée par les hautes plaines du nord de fèves habituellement occupé avec un faible rendement, avec des inclinais d'adaptation des systèmes de production.
- ✓ **Arde moyen:** de 200 mm à 300 mm dans la région montagneuse, représentée par centrale (monts des Nementcha), a vocation steppique.
- ✓ **Arde inférieur:** de 100 mm à 200 mm est composé de la région présaharienne ou dominant les parcours présahariens.
- ✓ **Plus sec:** moins de 100 mm et est compose d'une partie de l'Atlas saharien, qui représente la pierre angulaire de la remise en état des terres désertiques de la région.

**I.5.Géomorphologie formé des bassins de la région:**

La structure physique de la Wilaya est très hétérogène. Elle fait partie des hauts plateaux et se caractérise par quatre régions distinctes :

- ✓ Les Hautes plaines au Nord : Couvrent 15% du territoire, c’est une région de plaines à fortes potentialités hydriques qui offrent de grandes possibilités pour le développement agricole.
- ✓ La Zone montagneuse : Occupe les parties centrale et Ouest de la Wilaya avec 36% du territoire (les massifs des Aurès et les Monts des Nementcha).
- ✓ Les parcours steppiques et sahariens : Couvrent la moitié Sud de la Wilaya avec 49% de la superficie totale (région à vocation pastorale).

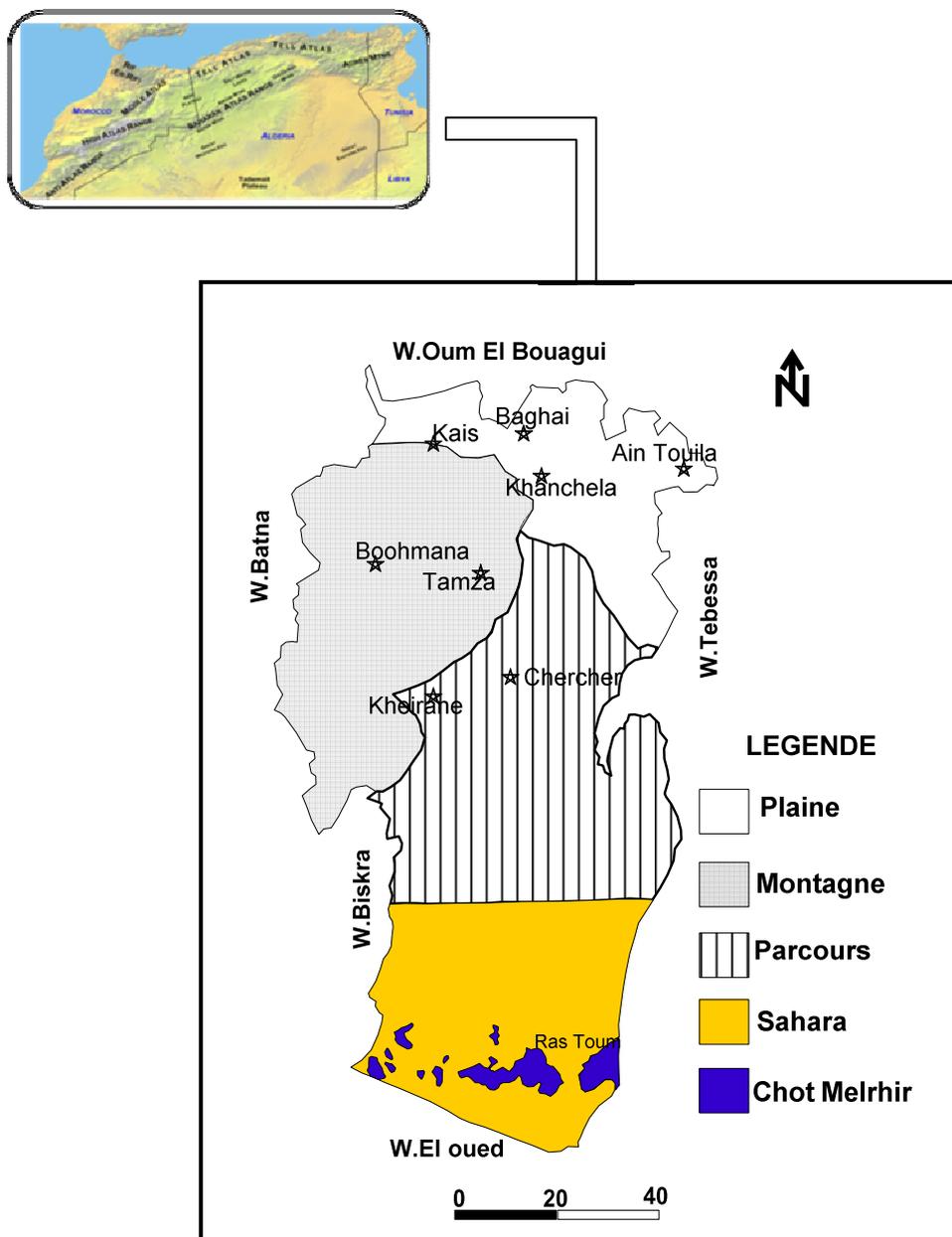


Figure N° 02 : Carte des reliefs de la wilaya de khenchela.

**I.6.Réseau Hydrographique:** la région connaît un réseau hydrographique assez dense, avec un régime hydraulique moins permanent.

Il est caractérisé par deux principaux drainages:

- ✓ Au Nord vers le Chott de Geraet-Tarf : le réseau hydrographique du Nord est moins étendu et influe faiblement dans la vie économique de la région.
- ✓ Au Sud vers le Chott Melrhir : le réseau de la partie Sud est composé de trois bassins essentiels:
  - Bassin d'Oued El- Maa.
  - Bassin d'Oued El-Arab.
  - Bassin d'Oued Beni Barbar.

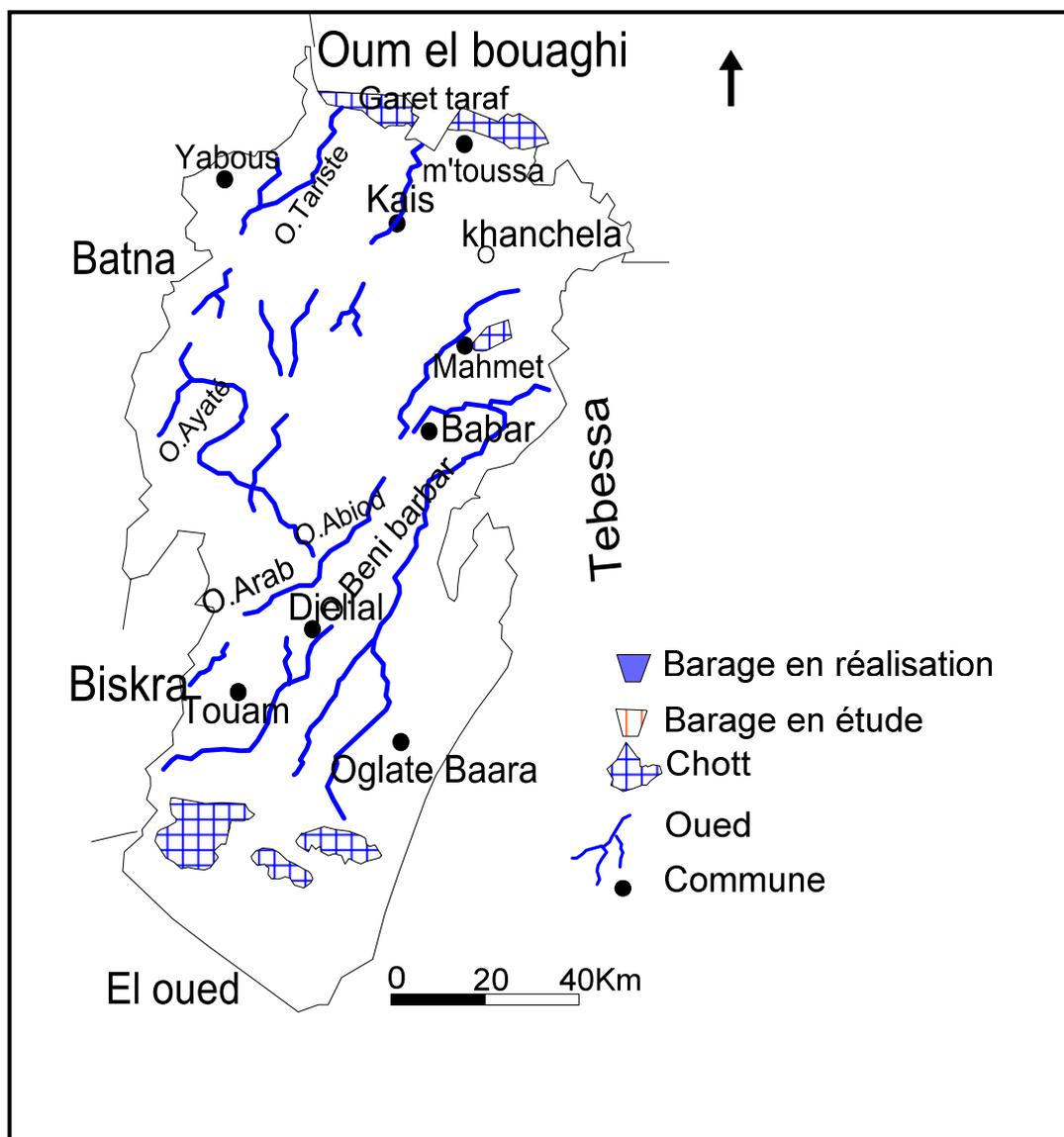


Figure N° 03 : Carte de réseau hydrographique de la wilaya de Khenchela (D'après D.H.W.) Année 2008.

La région se caractérise par un réseau hydrographique bien développé, par un certain nombre d'oueds dont les caractéristiques sont différentes à savoir un écoulement permanent et écoulement temporaire parmi les oueds constituant ce réseau, on peut citer les oueds suivants:

**Oued permanents:** Se sont des oueds caractérisés par un écoulement connaît, dont l'alimentation se fait par la couverture neigeuse et les sources, sans oublier l'alimentation par les eaux des pluies, ainsi que les échanges nappes d'eau souterraine rivières.

- ✓ **Oued El-Hamma :** Ce dernier prend naissance a partir du Djebel Ras Serdoun (1700m), il est alimenté par les sources thermales du hammam Salihin, et par des affluents qui fonctionnent principalement a la suite de fortes précipitations, et la couverture neigeuse, tout le potentiel de ce oued va alimenter les chottes environnants surtout le chott du Garat- Tarf.
- ✓ **Oued Baghai:** L'Oued Baghai débute du Djebel Kallel et va se jeter à son tour vers le chott du Gart- Tarf. il est de direction générale sud nord le long de son trajet et reçoit quelques oueds de moindre importance, tel que oued Boukhagel.

**Oued Temporaires:** Ils constituent presque la quasi -totalité du réseau hydrographique, ils sont donc caractérisés par un écoulement temporaire, ils sont secs durant une grande période de l'année et sont soumis en hiver et en automne a des crues irrégulières survenant après de fortes averses. Parmi ces oueds, on cite oued Mouilah, en plus, on distingue d'autres qui sont nombreux, de moindre importance et de direction différente.

### **I.7.Conclusion:**

D'une façon générale, le réseau hydrographique de la région est assez dense, caractérisé par un régime moins permanent sur tout l'année, les oueds permanentes leurs sources au niveau des montagnes. le potentiel de ces oueds contribue a l'alimentation des chotts : Garaet el Tarf, et le chott de melrhir.

Tout le potentiel des oueds et des chotts va influencer sur le régime des eaux souterraines à savoir les réserves et la qualité chimique ce qui concerne l'habitat, cette dernière se concentre en groupe assez nombreux elles sont installées la ou il ya de l'eau en quantité suffisante pour répondre à leurs besoins.

## II.1.Introduction

L'Afrique de Nord est représentée par un tronçon de la chaîne alpine dit "Magrèbides" qui s'allonge de Gibraltar à la Calabre, sur plus de 2000Km, elle est constituée d'un domaine septentrional tello-réfain, caractérisé par le développement de nombreuses unités allochtones à vergence Sud, et un avant pays autochtone. Un couloir tectonique droit et continu net en contact la chaîne alpine et le Sahara (**R .Guiraud, 1990**). Ce couloir est considéré comme l'une des lignes de faiblesse EW de la microplaque méso-méditerranéenne (**Durand Delga, 1980**) ou ALKAPEACA (**Bouillin et Al, 1980**).

Du Nord au Sud, cette chaîne comprend les ensembles structuraux suivants: (**Fig. 04**)

➤ **Système tellien** : Il est subdivisé en :

- **Les zones internes** : Il s'agit d'un socle précambrien (massifs de la petite et la grande Kabylie, l'Edough et les massifs d'Alger), constitué de terrains métamorphiques (gneiss, schistes, marbres ...etc.) et surmonté par une couverture paléozoïque.

Dans cette entière, se divise la chaîne calcaire ou dorsale Kabyle (**D. Delga, 1969**) avec sa couverture détritique d'âge Crétacé-Paléogène. Elle s'est écaillée en plusieurs unités tectoniques bordant au Sud les massifs cristallins anciens.

- **Les flyschs** : Ils forment une bande pratiquement continue et bien structurée au Sud de la chaîne calcaire et des massifs anciens littoraux. Ces flyschs ont rempli de Néocomien à l'Aquitaniens, un large Sillon, que l'on divise transversalement d'après leur faciès et leur origine en une partie relativement interne (flysch mauritanien) et une partie relativement externe (flysch massylien).

- **Les zones externes** : les zones sont subdivisées en deux domaines, le premier est celui des nappes telliennes, formées d'un ensemble de séries allochtones à matériel essentiellement marno-calcaire d'âge Crétacé Miocène, structurées en grandes lames de nappes souvent décollées au niveau du Crétacé inférieur. Le second est le domaine des massifs parautochtones représentés par les chaînes des Babors, Bibans, Ouarsenis, qui sont formées par des séries essentiellement marno-carbonatées d'âge Crétacé.

Elles sont affectées par une déformation intense engendrant des structures globalement ENE - WSW légèrement décollées de leur substratum (**fig. 05**).



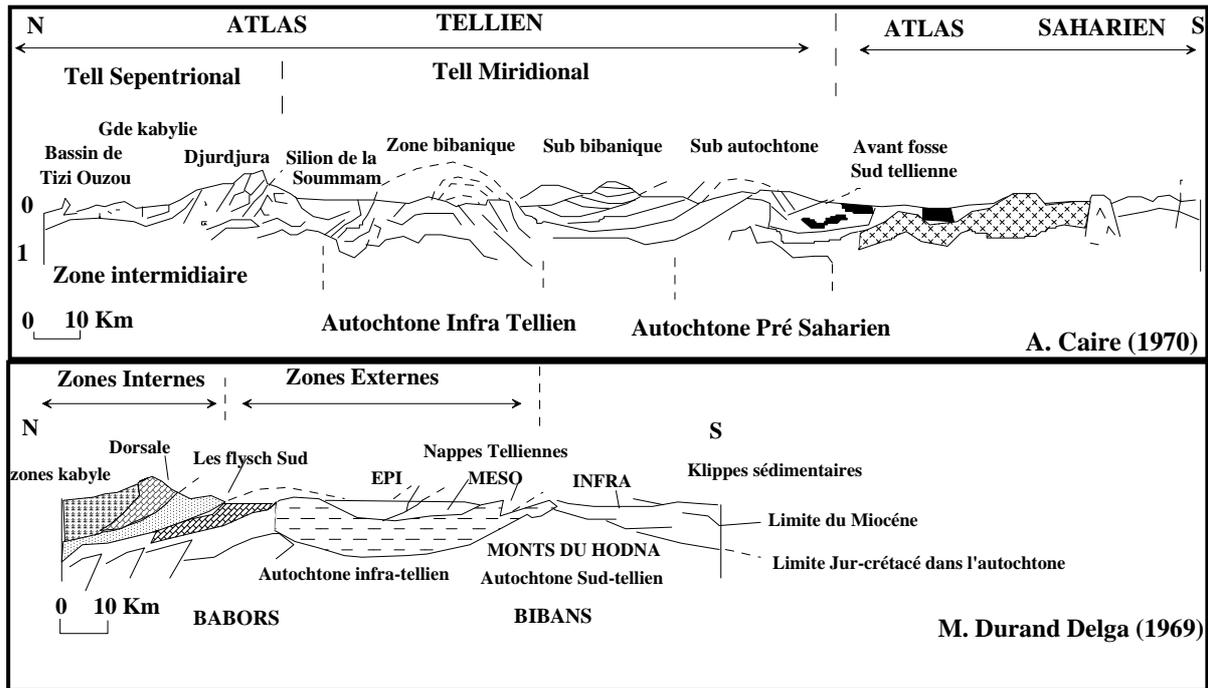


Figure N°05 : Coupe géologique à travers le Nord de l'Algérie.

➤ L'Avant pays

- **La plate forme carbonatée :** (unité néritique Constantinois).

Sur près de 160 Km d'Est en Ouest, et sur 30 Km du Nord au Sud, la plate forme est considérée comme un ensemble allochtone à vergence Sud, formée d'épaisses séries carbonatées à passées marneuses et récifales parfois.

Durant le Mésozoïque, cette zone se comporte en haut fond, entre les Sillons plus subsidient qui l'encadrent. Au cours des phases de déformation, elle s'est comportée de façon rigide, sa déformation interne se limite à des accidents et à des plissements NE - SW d'âge Eocène (W. Wildi, 1983).

- **Les hauts plateaux :** elles dessinent une bande ENE - WSW, d'une longueur de 700 Km et une largeur de 250 Km, délimitée : vers le Nord par le front de chevauchement tellien et vers le Sud par l'accident nord atlasique, elle disparaît vers l'Est au niveau du Hodna. Cette zone correspond aux domaines des grands chotts d'Ouest en Est. On rencontre chotts Ech-Chergui, Zahrez Rharbi, Zahrez Chergui et El Hodna. Ces hauts plateaux forment une vaste dépression comblée par l'épaisse couche de sédiments accumulés depuis le Miocène supérieur jusqu'au Quaternaire.

- **L'Atlas saharien** : c'est une chaîne intercratonique d'Afrique du Nord qui s'étend sur plus de 1000Km, depuis le Maroc (haut et moyen Atlas) jusqu'au Tunisie (Atlas tunisien) d'une largeur qui avoisine les 100Km. Elle est limitée par l'accident sur Atlasique qui met en contact avec la plate forme Saharienne au Sud et accident Nord Atlasique au Nord. Cette chaîne est orientée suivant une direction générale NE - SW représentée d'ouest en Est par les monts des Ksors, Dj Amor, les monts des Ouleds Nail, les Aurès et les Nemamchas. Elle est formée dès l'Eocène moyen (Lutétien).

Ce domaine est caractérisé par des plis plurikilométriques et régit par des failles sédimentaires dont l'orientation est NE-SO, avec des manifestations diapiriques.

## **II.2.Cadre lithostratigraphique :**

**II.2.1.Trias** : Formé essentiellement de marnes bariolées de couleurs rouges et violacées, ainsi que de sables, d'argiles et de dolomies. Les formations triasiques acquièrent une certaine plasticité grâce aux sels et au gypse qu'elles contiennent et constituent ainsi les noyaux des structures diapiriques.

Le trias affleure en plusieurs endroits tels que : Dj. Melah (El-Outaya), Manaa, Narah, Medina et Khenchela.

**II.2.2.Jurassique** : Caractérisé par un large développement des faciès carbonatés (calcaires, dolomies), parfois argileux (schiste argileux et calcaires argileux siliceux et bréchiques) renfermant des intercalations marneuses jaunes et rouges pouvant atteindre 400m d'épaisseur.

Les séries jurassiques ont une épaisseur totale dans la région qui varie entre 4000m et 6000m.

**II.2.3.Crétacé** : Qui s'étale de Barriasien jusqu'au sénonien et Damien présente des différentes formations (marnes, dolomie, calcaire) avec des différents épaisseurs qui atteint 2000m dans les anticlinaux et les synclinaux de l'Aurès.

**II.2.4.Paléogène** : Les formations paléogènes sont développées surtout dans les zones synclinales correspondant aux vallées contemporaines et dans la flexure saharienne. Ce sont des calcaires et des marnes parfois à gypse et phosphates.

Au sommet de l'étage, nous avons des sables; des conglomérats et des brèches. Les dépôts marins sont très variables du point de vue faciès et puissances ; qui varient de quelques dizaines de mètres à 500m.

Dans l'Aurès le Nummulitique se divise en deux parties :

- Une série essentiellement marine à la base, fossilifère ; d'âge Eocène inférieur et Eocène moyen.
- Une série continentale au sommet, d'âge Eocène supérieur et Oligocène.

**II.2.5.Néogène :** Les dépôts néogènes sont représentés par des conglomérats du Miocène remplacés vers le sud par des formations marines (calcaires, marnes...).

La présence des conglomérats est liée à l'émersion. A l'intérieur des zones synclinales, les conglomérats et les poudings du miocène sont concordants avec les roches sous-jacentes et marquent ainsi la fin de la sédimentation marine.

Dans les zones Anticlinales, ces dépôts dont L'épaisseur varie de 250 à 300m; reposent en discordance sur les formations sous-jacentes. Le néogène peut être divisé en deux unités principales :

- Une unité marine basale, d'âge miocène inférieur qui est le miocène marin.
- Une unité continentale sommitale, d'âge miocène supérieur-pliocène qui représente le néogène continental.

**II.2.6.Quaternaire :** Ce sont des formations largement répandues à la périphérie de L'Aurès et représentées surtout par des éboulis et des terrasses à son centre.

En périphérie, se développent de larges et épaisses nappes alluviales. Vers le Sud-Ouest, des dunes s'observent aux environs de Biskra : Ce sont des argiles sableuses, des accumulations de débris et de galets de différentes roches et des travertins.

### **II.3.Géologie locale :**

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et études régionaux et des synthèses sur le massif des Aurès sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères Stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structurales (R. Laffitte 1939, R. Guiraud 1973, C.G.G. 1969, J. M. Vila 1977, B. Houha 1996 et 2007).

#### **II.3.1- Lithostratigraphie :**

D'après l'inventaire stratigraphique dressé par plusieurs géologues et en particulier par R. Laffitte, les terrains les plus anciens sont attribués au Trias et les plus récents au Quaternaire. (Fig5)

**II.3.1.1-Le Mésozoïque :**

**a) Trias :** Le Trias affleure toujours en position anormale, il est formé de pointements diapiriques jalonnant les accidents tectoniques (Para-autochtone), les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, ou il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 Km de long et 300 à 400m de large.

Et sur Djebels el Krouma et Knif en contact anormal avec l'Albien, le Cénomanién et le Cénonien. Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux (Laffitte, 1939 et Vila, 1977).

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas à un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce époinement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres époinements, qui sont anté-miocènes, il a disparu depuis longtemps (R. Laffitte 1939).

Les argiles et marnes bariolées, de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement.

Des passées calcaire-dolomitiques, de couleur gris à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasiques.

**b) Jurassique :** La lithologie des formations Jurassiques dans l'Aurès se distingue par un large développement des faciès carbonatés (Calcaire dolomie) parfois argileux (Schistes argileux, et calcaire argileux, siliceux et béchiques). Elles renferment parfois des intercalations de marnes jaunes et rouges dont l'épaisseur peut atteindre 400 mètres.

L'épaisseur totale de ces dépôts dans la région peut être évaluée à 4000 voire 6000 m.

**b.1- Lias :** Peu présent dans la région, il est localement représenté par des schistes tendres contenant parfois des ammonites pyriteuses.

**b.2- Dogger :** Le Jurassique moyen (Aalénien) est constitué par une série d'alternance; de dolomies, de calcaire et de marne avec des gypses.

**b.3- Malm :** Il est constitué par 15mètres d'épaisseur d'une alternance des calcaires noduleux et des marnes.

**c) Crétacé :** Le Crétacé a été subdivisé par R. Laffite (1939) en Crétacé inférieur ou série gréseuse (Berriasien à l'Albien) et en Crétacé supérieur ou série marno- calcaires (Cénomanién à Maestrichtien).

**c.1- Crétacé inférieur :** Il couvre une grande partie des Anticlinaux du Djebel Chelia, Anticlinal de Khenchela, il affleure aussi au Kef Tifekressa, Ras Serdoun, Djebel Chenntgouma, Djebel Faraoun et Djebel Aidel.

R. Laffitte (1939) a soigneusement décrit la plupart des faciès et c'est à partir des ses descriptions, modifiés ou complétés en quelques points, que R. Guiraud (1973) qui résume de façon schématique les principales variations observables.

Le Crétacé inférieur peut être subdivisé en quatre ensembles lithologiques :

Un ensemble inférieur (1000m) à dominance argileuse correspondant au Berriasien supérieur-Valanginien. On note que le Valanginien n'est seulement connu qu'au Djebel Azreg à Batna, presque au centre du massif montagneux.

Un ensemble basal (1300m) à dominance carbonate avec des calcaires micritiques et bioclastiques en bancs métriques (Tithonien supérieur-Berriasien moyen).

Un ensemble médian (1400m) à dominante grés-dolimitique appartenant à l'Hautrivien-Barrémien.

Un ensemble supérieur (700 à 750m), comprenant à la base des dolomies et une alternance de grés, de calcaire à Orbitolines, puis des grés à stratifications obliques, des marnes gréseuses, des calcaire marneux et des calcaires au sommet, est attribué à l'Aptien-albien.

**c.2- Crétacé supérieur :** Il occupe une grande superficie à l'affleurement dans l'Aurès et forme l'essentiel des affleurements Mésozoïques des les confins de l'Aurès. Dans notre région d'étude il affleure au Djebel Aurès, Djebel Djahfa, El Krouma, Khenchela, El Khallel, Djebel Chettaia etc.....

**c.2.1-Cénomaniens :** Il est présent dans tous les grands anticlinaux de l'Aurès. Il est essentiellement calcaire- marneux. La partie inférieure est surtout marneuse. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais. L'épaisseur de cette formation est très variable, elle peut atteindre 500 à 600 mètres au cœur de l'Aurès.

Le Cénomaniens comporte une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises, verts ou ocres, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses.

Une série terminale constituée de marne et de calcaires formant une corniche.

**c.2.2- Turonien :** Le Turonien occupe à l'affleurement les plus grandes surfaces de l'Aurès (pendage faible). Le Turonien comporte, en effet, au dessus des marno-calcaires de base, un ensemble de marnes beiges et calcaires.

Dans le Djebel de Amrane, le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie moyenne, et marno-calcaire au sommet. L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 mètres dans les faciès marno-calcaires du cœur de l'Aurès, mais varie de 1000 à 3000 mètres dans les calcaires.

**c.2.3- Sénonien :** Le Sénonien est représenté dans tous les synclinaux de l'Aurès. Il est très épais 2000 mètres en moyenne. Dans notre région il affleure au Sud de la plaine de Rémila, sur le flanc Nord de l'Anticlinal du Djebel Chelia avec un faciès principalement marneux. Son épaisseur peut être très importante et atteindre 1000 à 2000 mètres.

**c.2.4- Coniacien :** Il présente un horizon de marne et de marno-calcaires. Le Coniacien est présent au niveau de Ras Tafer Kennfad et aux alentours du Djebel el Kharroub.

**c.2.5- Santonien :**

**c.2.5.1- Le Santonien C4:** Est constituée de faciès marneux, de marne gris-bleu et calcaire, il affleure aux alentours du Djebel el Kharroub et Djebel Aurès.

**c.2.5.2- Le Santonien C4r:** Faciès récifal des Djebels El Krouma et Knif.

**c.2.6- Campanien:** Constitué de marne et calcaires crayeux, et affleuré au Djebel Chettaia, Djebel Aurès, à Douar Ouled Ensirha et aux alentours des Djebels Chettaia et El Krouma.

**c.2.7- Maestrichtien :** Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé en:

= Maestrichtien inférieur à dominante marneuse.

= Maestrichtien supérieur constitué par des calcaires à Inocérames.

Il affleure à Et Tarf, Djebel Chettaia et Argoub Mennsa.

On se rapproche de la zone des hautes plaines constantinoises ou le Maestrichtien semble ne pas exister, ce qui indique que, s'il est déposé dans cette région, ce fut sous faible épaisseur et qu'il a ainsi été facilement enlevé par l'érosion; peut être même n'a-t-il jamais existé en certains points et sa position dans le schéma tectonique de l'Aurès.

**II.3.1.2- Le Cénozoïque :****a- Paléogène :**

**a.1- Paléocène :** Le paléogène marin, au Danien marin succède en concordance, des couches marines, marno-calcaires, dans lesquelles, latéralement, en certains points, s'intercalent des couches lacustres et des couches rouges d'origine lagunaire ou plutôt continentale, mais il s'agit là de conditions exceptionnelles de l'Eocène inférieur (Yprésien) et l'Eocène moyen (Lutétien) sont essentiellement marin.

**a.2- Eocène inférieur (Yprésien) :** C'est dans le Sud-est de l'Aurès, que le Nummulitique est le plus développé; et peut être le seul affleurement existant dans le terrain est celui de A. Eguelmamène constitué par des calcaires à silex. Au début de l'Eocène, et pendant la période Paléocène, c'est-à-dire pendant le Montien et le Thanétien, la mer semble avoir recouvert l'Aurès d'une manière assez uniforme.

Dans le Sud-est, on trouve, dès la base de la formation, une faune caractérisée par l'abondance des Turritelles.

**b- Néogène :** Dans les limites de la partie centrale des Aurès, les dépôts Néogènes sont représentés surtout par des conglomérats du Miocène qui remplacent vers le Sud par des formations marines normales (calcaire, marne...). Les dépôts de cette période se caractérisent par des changements fréquents des faciès suivants des directions différentes; la présence des conglomérats est liée à l'émersion.

Au cours de la période Lutétien, dans les limites de la partie Nord-ouest des Aurès, ces conglomérats et les assises calcaro-marneuse sont surmontés par des formations continentales qui soulignent une étape bien caractéristique du développement du relief et une phase intense du plissement.

A l'intérieur des zones synclinales, les conglomérats et les poudingues du Miocène sont concordants avec des roches sous-jacentes et marquent ainsi la fin de la sédimentation marine. Dans les zones anticlinales, ces dépôts, dont l'épaisseur varie de 250 à 300mètres, reposent en discordance sur les formations sous-jacentes.

**b.1- Miocène :** En 1862, Coquand signale pour la première fois dans les environs de Khenchela un gisement de Burdigalien à Pectens et l'âge exact des couches rouges du Sud de l'Aurès. Le Miocène dans la région d'étude peut subdiviser de la manière suivante :

**b.1.1- Aquitano-burdigalien:** Marqué par des conglomérats rouges. Il affleure à El Kelaa, Ras Khodalène et à l'entour de Ras Serdoun.

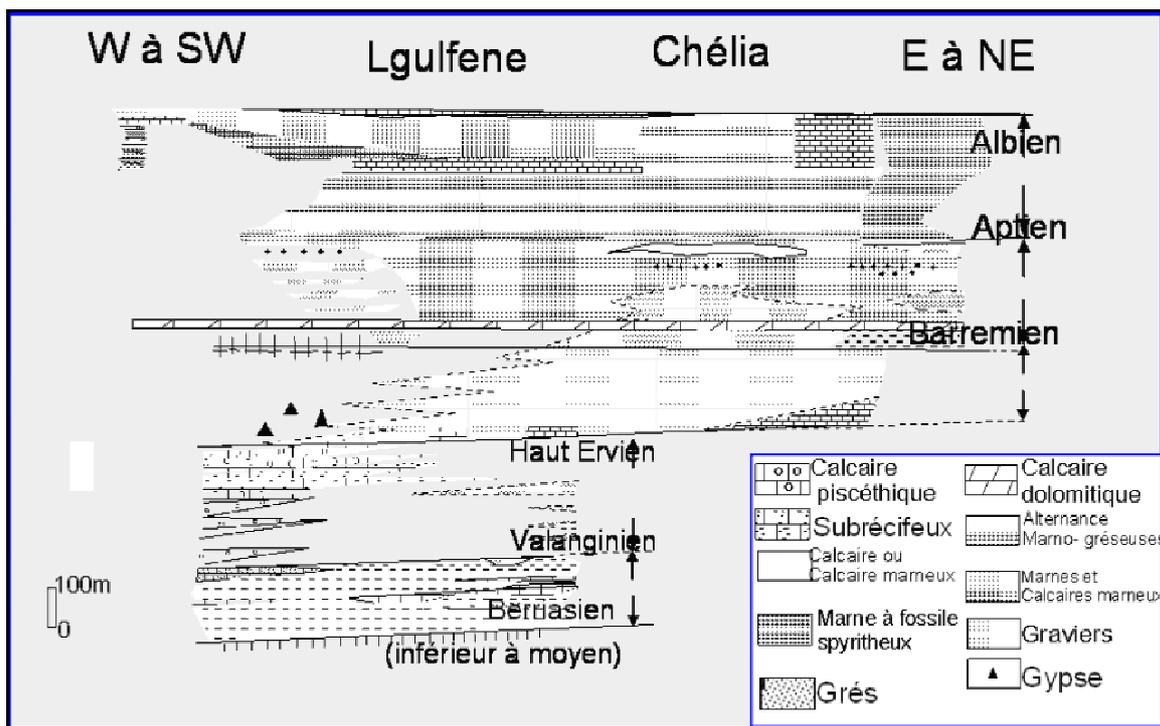
**b.1.2- Langhien-serravalien:** Constitué par des marnes, biomicrites, biomicrosparite et grés blancs. Il est remarqué au niveau d'El Kelaa Djebel Knif et Ras Ychebrane.

**b.1.3- Tortorien:** Gréseux blanc, qui affleure à Tirkabine, Djebel Kharroub, Djebel Akar, El Mennchar et Douar Khenchela.

**b.1.4- Tortorien supérieur:** Continentale, ce sont des argiles silteuses beiges et rouges, grés. Le Tortorien supérieur n'apparaît qu'au niveau Draa El Ahmar.

**I.3.1.3- Le Quaternaire :** Les formations récentes sont aussi largement répandues à la périphérie de l'Aurès qu'ils sont rares dans le centre du massif : ils sont représentés uniquement par des Eboulis et des terrasses, tandis qu'ils forment en périphérie, de larges et d'épaisses nappes alluviales.

Les dépôts quaternaires recouvrent le majeur parti des plaines, ce sont des Eboulis à blocs, Alluvions récentes ou actuelles, Terres arables, Alluvions anciennes, Glacis polygénique nappant les reliefs et des croûtes calcaires.



**Figure N° 06: Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de l'Aurès d'après R. Laffitte (1939) et modifié par R. Guiraud.**

### II.3.2- Tectonique locale :

Le domaine Atlasique correspond essentiellement en Algérie à deux grands ensembles morphologiques bien individualisés, Atlas Saharien à l'Ouest, Aurès-Nemamcha à l'Est, dont l'histoire géologique montre qu'ils appartiennent à une même chaîne.

A la lumière des résultats acquis dans les domaines de la chaîne Atlasiques, principalement par (R. Laffitte 1939, R. Guiraud 1973 et J. M. Vila 1977), et que l'on peut résumer ainsi pour l'essentiel:

- Le relief de L'Aurès a subi de nombreux dépôts et ses formes actuelles sont dus à l'élévation post-pliocène. La phase de plissement maximum dans l'Aurès débute à la fin du Lutétien ; ils correspondent aux mouvements de l'orogénèse pyrénéenne (Vila, 1977).

- Le massif de l'Aurès serait affecté par une forte subsidence lors du Mésozoïque puis énergiquement plissés à la fin de l'Eocène moyen; certaines parties du massif s'élèvent, d'autre s'affaissent. C'est dans celles-ci que se déposent les couches rouges, jusqu'à la fin du Pontien.

- Surrection vers la fin de l'Oligocène de l'ensemble de la chaîne, quelques plis et flexures de direction E-W se produisent alors dans les Aurès marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire.

- Les mouvements post-Burdigalien ont modifié notablement les formations Miocènes marines et continentales. Ainsi les grès Burdigalien en bordure Sud de la plaine de Rémila sont révélés à 60-80m entre Timgad et Kais et à 20-50m à l'Est de Kais. Ils présentent au Sud- ouest de la plaine de Rémila une allure synclinale entre le flanc Sud et le Djebel Amrane. La direction générale Est-ouest et d'autre part coupée par des accidents orthogonaux.

- A la fin du Tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes Crétacé et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux.

- Possibilité de rencontrer des accidents obliques ou perpendiculaires aux structures, quelques grandes cassures d'orientation NW-SE ayant notamment été reconnues par R. Laffitte (1939) et par G. Dubourdiou (1956).

- Mise en place d'injection triasique, (diapir ou dôme de sel), à différentes époque, Turonien supérieur, post-Lutétien (L. Lessard, 1957).

- L'anticlinal Crétacé du Djebel Amrane, qui divise la plaine de Rémila en deux synclinaux, présente des pendages assez élevés, atteignant 50°. Sa prolongation vers

l'Est, sous le recouvrement récent, est très vraisemblable, puisque les forages qui se situent au centre du bassin, à 10 Km au minimum à l'Est de la terminaison du Djebel Amrane, ont rencontré le Crétacé à des profondeurs très faibles :

- Ce sont des dépôts Quaternaires continentales constituées d'alluvions, regs, terrasses occupant la plus grande superficie du territoire de la wilaya, ils sont répartis dans la zone Nord.

- Le synclinal de Khenchela qui représente une vaste structure régulière est constitué par les successions géologique suivante: le Crétacé inférieur, épaisses séries en grande partie continentale, formées par des dépôts calcaires, marno-calcaires et marno-calcaires argileux. Toute cette région marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, aurait connu vers la fin de l'Oligocène une phase d'orogénèse extrêmement active qui a entraîné la surrection de l'Atlas saharien.

- Les divers documentations publiés par R. Laffitte ne font état d'un très petit nombre de failles les une directement directionnelle (dans les anticlinaux de Khenchela, Djebel Aidel et Chelia), les autres obliques et orientés presque exclusivement au NW. En fait les cassures sont nombreuses dans le massif de l'Aurès et elles se répartissent très généralement suivant des directions voisines de NW-SE (les plus fréquents), E-W ou 60°E. Du Nord vers le Sud, les principales cassures se situent :

- Au Sud du Djebel Chélia.

- Dans la chaîne Aidel.



Tableau N°2 : Log stratigraphique de la région de Khenchela.

Age	Période	Epoque	Etage	Litologie	Epaisseur(m)	Perméabilité
Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire	Eboulis à blocs terre arables, aluvions ancienne	Quelques metre	Perméable
Cénozoïque Tertiaires	Néogène	Miocène	Tortonien supérieur m3	Argile silteuse beige et rouge et grés	150	Imperméable
			Tortonien gréseux m2	Grés blancs grossiers	30	Perméable
			Langhien	Marnes biomicrites	40	Semi-Perméable
			Serravallien	Biomicrites et grés blanc	40	Perméable
Mésozoïque	Crétacé	Crétacé supérieur	Campanien C5	Marnes et calcaire crayeux	170	Semi-Perméable
			Santonien faciès récifal C4	Marnes gris et bleu et calcaire	250	Semi-Perméable
			Santonien faciès marneux C4	Biosparite bréchoïde et micrite grise	130	Semi-Perméable
			Canocien C3	Marnes grise et marno-calcaires	150	Semi-Perméable
			Turonien moyenne et supérieur	Marnes beige et calcaires moduleux	150	Perméable
			Turonien basale C2a	Marno-calcaire en plaquettes alternance du marnes et de petits banes marno-calcaires	250	Semi-Perméable
			Cénomaniens supérieur C1a	Calcaires massifs karstifiés	30	Perméable
			Cénomaniens moyenne C1b	Marnes grise et biomicrites	50	Semi-Perméable
	Trias	Trias	Trias Alpein	Argile	Quelques metre	Imperméable

**II.4. Conclusion :**

L'épaisseur considérable de sédiments accumulés dans les Aurès; du trias au pliocène est due à la proximité du continent africain où l'action de l'érosion s'exerçant sur des surfaces considérables pouvait alimenter une sédimentation importante.

Les sédiments s'accumulaient dans le fossé qui se trouvait sur remplacement de l'Atlas saharien ; qu'ils comblent au fur et a mesure de son approfondissement, ce qui fait que les sédiments bathyaux y sont très rares.

On distingue trois niveaux perméables :

- Quaternaire : Graviers, sable, grossiers galets et calcaires, constituent l'essentiel de ces formations. Ces horizons perméables ont des épaisseurs variables (entre 10m au sud et 30m au nord de la plaine).
- Tortonien : Gréseux, affleure que dans la partie nord (bassin de Touffana). Il constituer un bon aquifère.
- Maastrichtien supérieur : Les calcaires du Maastrichtien supérieur constituent l'élément essentiel de la région, ce niveau assez épais (150 mètres) ; et couvrant d'importantes superficies de calcaires bien fissurés et karstifiés (DUROZOY, 1949), au moins sur une certaine épaisseur ; il constitue un milieu favorable à l'accumulation des eaux souterraines et se présente comme le principal réservoir de la région.

### III.1. Introduction

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour estimer le taux de recharge d'un système hydraulique passe impérativement par la connaissance des facteurs climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement et l'infiltration.

Le relief caractérisé par les derniers chaînons de l'Atlas saharien et formant une barrière aux influences méditerranéennes accentuées les contrastes climatiques entre l'Atlas saharien et la plate forme saharienne.

Les aires climatiques semblent, donc se superposer sur les grands ensembles morpho structuraux. Ainsi, les derniers chaînons de l'Atlas saharien marquent la limite du climat aride. Notre zone est couverte par plusieurs stations d'observations et de mesures (stations de Khenchela, Babar, Kheirane et Foum-Toub). On a utilisé les données des stations pluviométrique de Khenchela et Kheirane (données A.N.R.H), pour les précipitations et les températures du fait qu'elle présente une période largement suffisante (20 ans), allant de 1990 jusqu'à 2010. Pour les températures on s'est référé aux données de l'office national de la météorologie (O.N.M),

**Tableau N°03: coordonnées des stations de mesure des paramètres climatiques.**

Station	X	Y	Z	Année
Babar	901,1	217	1100	1990/2010
Foum toub	849,8	241	1160	1990/2010
Khenchela	892	256	970	1990/2010
Kheirane	905.5	234	1120	1990/2010

### III.2. Les paramètres climatiques :

#### III.2.1. Les précipitations :

**Tableau N°04: Moyenne mensuelle des précipitations en (mm), des stations de Khenchela, Babar, Kheirane et Foum-Toub période de (1990/2010).**

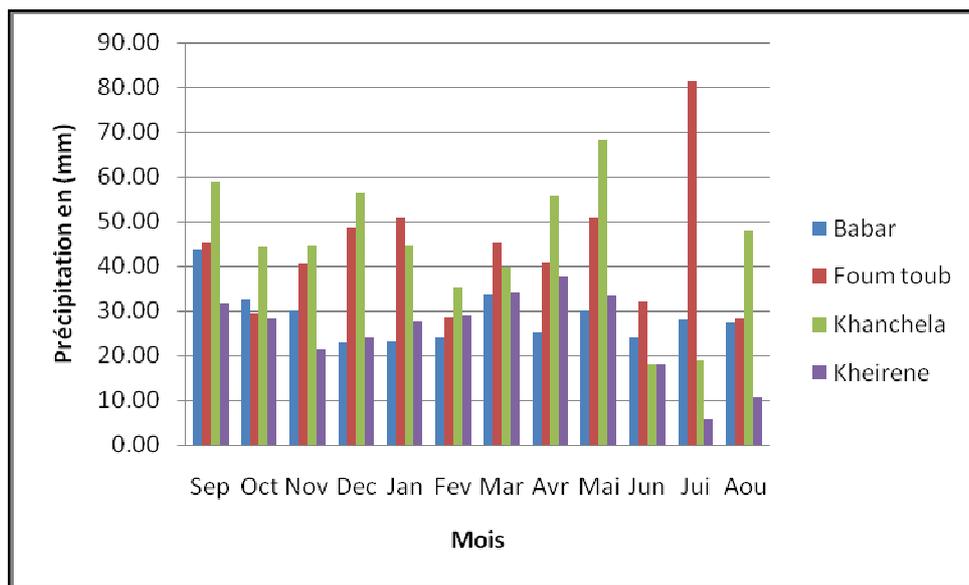
Station/Mois	Babar	Foum Toub	Khenchela	Kheirane
Sep	43,78	45,15	58,8	31,7
Oct	32,64	29,47	44,34	28,2
Nov	30,00	40,63	44,6	21,5
Dec	22,98	48,51	56,23	24,1
Jan	23,28	50,93	44,6	27,6
Fev	23,90	28,67	25,19	28,9
Mar	33,58	45,22	39,78	34,1
Avr	25,06	40,81	55,69	37,7
Mai	30,13	50,80	68,28	33,4
Jun	24,12	32,10	18	18
Jui	28,01	81,32	18,8	5,6
Aou	27,56	28,37	48,06	10,7

La précipitation est la totalité de la lame quantifiée par la pluviométrie, elle est d'origine diverse ; pluie, neige, gèle, etc.....

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que :

- Les mois d'Avril et mai sont les mois les plus pluvieux avec une moyenne de 68.28mm à la station de Khenchela.
- Le mois Juillet est le mois le plus sec avec 5.6mm à la station de Kheirane.

Les monts de Khenchela reçoivent des précipitations neigeuses, ces derniers provoquent une diminution de la température et favorisent au maximum l'infiltration de l'eau dans le sous sol.



**Figure N°08: Histogramme des précipitations mensuelles à les stations Khenchela, Babar, Kheirane et Fougoumbou (1990/2010).**

**III.2.1.1. Répartition moyenne annuelle des précipitations :**

La répartition spatiale des précipitations, donnée par la carte des précipitations moyennes en Algérie réalisée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H, 1992). Cette carte au 1/500.000.

Les traits essentiels qui s'en dégagent, montrent globalement une répartition décroissante des précipitations, du Nord vers le Sud et de l'Ouest vers l'Est.

La pluviométrie varie de 2000 mm sur les reliefs et aux bordures de la méditerranée jusqu'à 600mm au niveau des hautes plaines, puis diminuer jusqu'à 100 mm à la limite du Sahara.

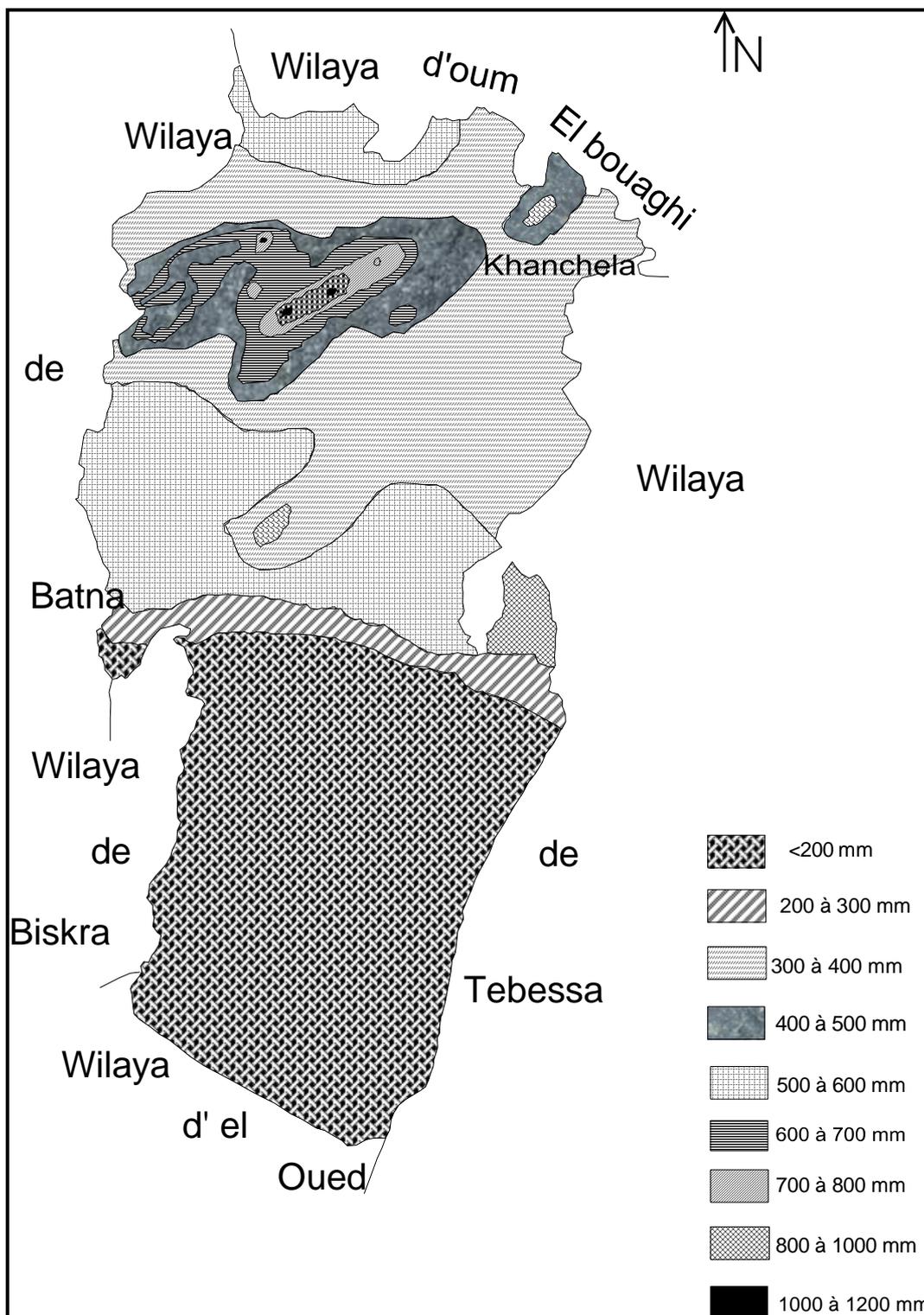


Figure N°09: répartition spatiale des précipitations annuelles (A.N.R.H, 1992).

Cette carte au 1/500.000.

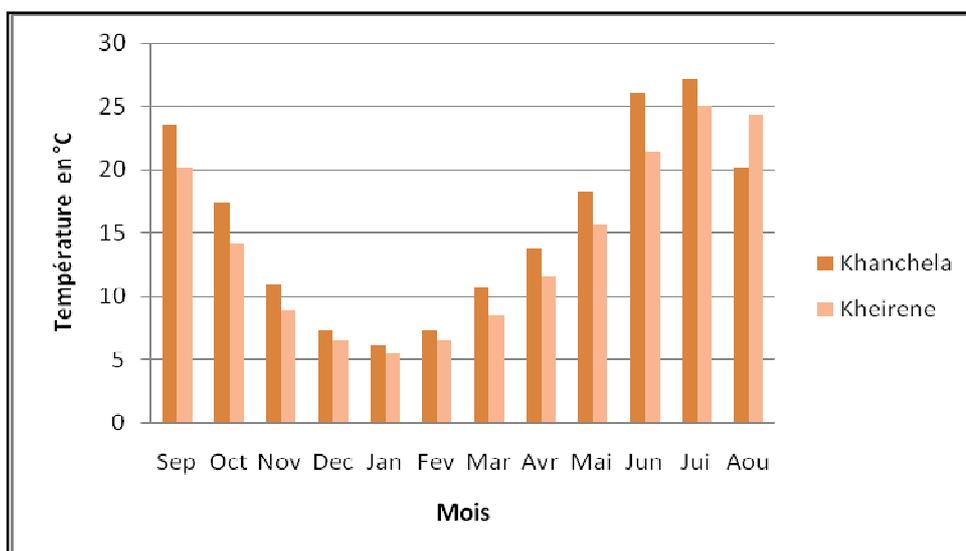
### III.2.2. La température :

La température est un facteur important conditionnant l'estimation du déficit d'écoulement.

Le tableau ci-dessous montre les moyennes mensuelles des températures pour une période de 20 ans.

**Tableau N°05: Moyenne mensuelle des températures en (°C), Stations de Khenchela et Kheirane (1990/2010).**

Station/ Mois	T en (°C), Khenchela	T En (°C) Kheirane
Sep	23,48	20,1
Oct.	17,41	14,2
Nov.	10,94	9
Déc.	7,36	6,5
Jan.	6,13	5,4
Fév.	7,3	6,5
Mar.	10,79	8,5
Avr.	13,69	11,5
Mai.	18,31	15,6
Jun.	26,08	21,4
Jui.	27,14	25
Aoû.	20,1	24,4



**Figure N° 10: Moyenne mensuelle des températures en (°C), Stations de Khenchela et Kheirane (1990/2010).**

L'analyse du tableau nous permet de tirer :

- Le mois le plus chaud, est le mois de Juillet dans les deux stations de Khenchela et Kheirane avec une moyenne de 25 et 27.14 °C.
- Le mois le plus froid est le mois de Janvier dans les deux stations de Khenchela et Kheirane avec une moyenne de 5.4 et 6.3°C.
- La température moyenne annuelle est de 15 °C.

On remarque aussi, un important écart des températures de l'air entre le jour et la nuit et d'une saison à une autre. Il y a aussi une large variation entre les moyennes minimales et maximales, dont l'écart est de 12 °C.

### III.3.Relation température précipitation :

#### III.3.1. Le diagramme Pluvio-Thermique :

D'après la courbe pluvio-thermique, on peut distinguer la période humide de la période sèche.

Selon Gaussen une période sèche est une période pendant la quelle les précipitations totales inférieures ou égales au double de la température :  $P \leq 2T$  (période sèche).

Une période humide est une période pendant la quelle les précipitations totales égales au double de la température :  $P=2T$ .

Avec ; P : précipitations moyenne mensuelle en mm.

T : température moyenne mensuelle en °C.

Le diagramme de Gaussen, fourni une représentation plus concrète du climat au cours de l'année.

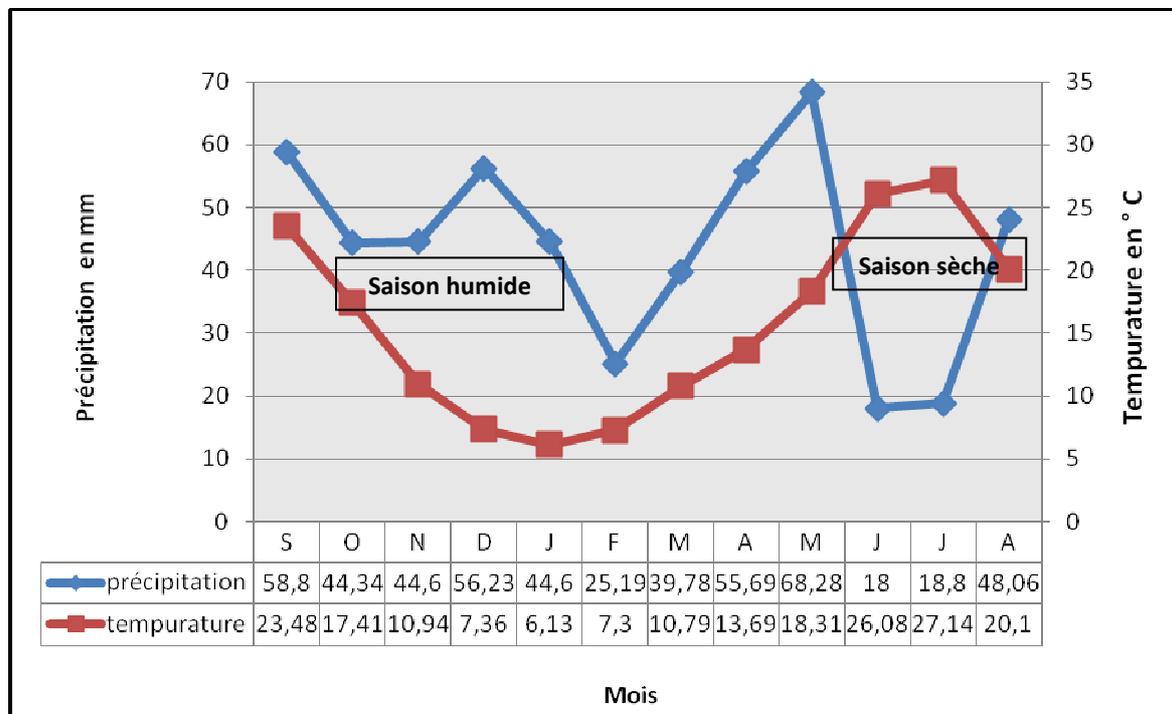


Figure N°11: Diagramme Pluvio-Thermique à la station de Khenchela (1990/2010).

L'analyse du diagramme nous permet de distinguer :

- une période de sècheresse de deux mois juin et juillet, elle coïncide avec la période la plus chaude (été).
- une période humide plus longue, de dix mois et qui commence du novembre et se prolonge jusqu'à le Mai, alors que cette période correspond essentiellement l'Hiver l'automne et le printemps avec un taux maximum égale à 31.35 % et le tableau ce dessous montre les précipitations saisonnières.

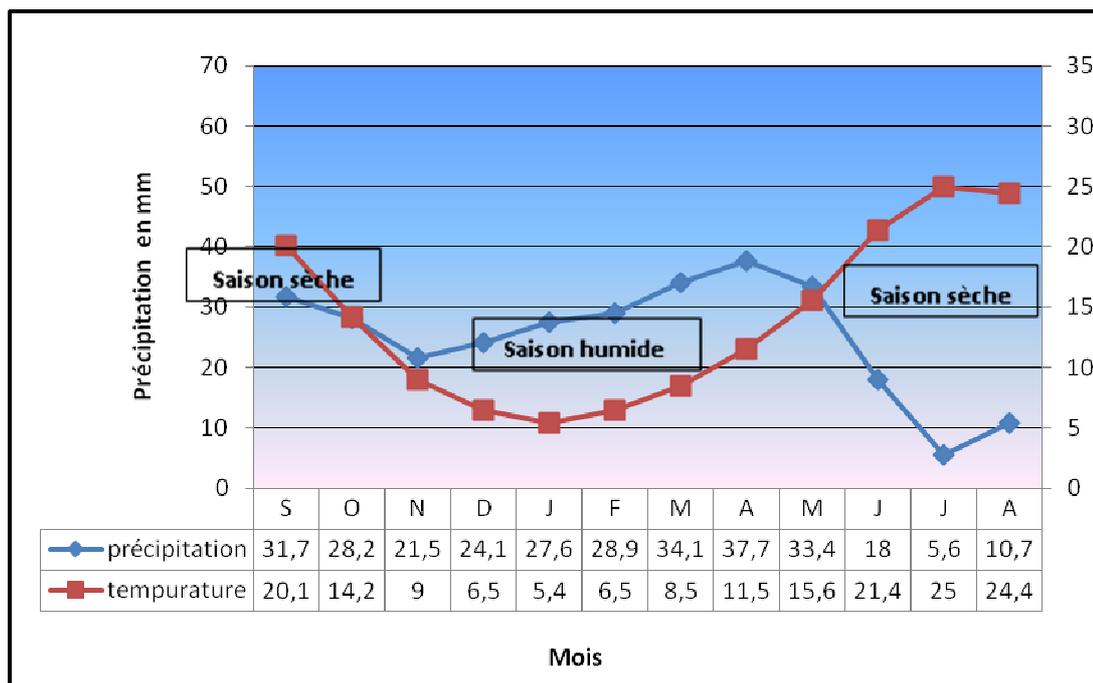


Figure N°12 : Diagramme Pluvio-Thermique à la station de Kheirane.

L'analyse du diagramme nous permet de distinguer :

- une période de sècheresse de cinq mois, allant du mi-mai jusqu'à mi-octobre, elle coïncide avec la période la plus chaude (été).
- une période humide plus longue, de septes mois et qui commence du mi-octobre et se prolonge jusqu'à le mi-mai, alors que cette période correspond essentiellement l'Hiver et le printemps avec un taux maximum égale à 34.89 % et le tableau suivant montre les précipitations saisonnières.

Tableau N°06: les précipitations saisonnières pour les deux stations.

Saison	Station /Mois	Précipitation(P)		Précipitation au saison (P)		Précipitation au saison (P) en %	
		Khenchela	Kheirane	Khenchela	Kheirane	Khenchela	Kheirane
Automne	Sep	58,8	31,7	147,74	81,40	28,28	27,00
	Oct	44,34	28,2				
	Nov	44,6	21,5				
Hiver	Déc	56,23	24,1	126,02	80,60	24,12	26,73
	Jan	44,6	27,6				
	Fév	25,19	28,9				
Printemps	Mar	39,78	34,1	163,75	105,20	31,35	34,89
	Avr	55,69	37,7				
	Mai	68,28	33,4				
Eté	Jun	18	18	84,86	34,30	16,25	11,38
	Jui	18,8	5,6				
	Aou	48,06	10,7				

**Remarque :**

Il faut signaler que la lame d'eau précipitée durant la période sèche, provient des pluies dues essentiellement à des orages.

**III.3.2. Le vent :**

Les vents sont caractérisés par leurs direction, leurs vitesses et leur intensités, dans notre région les vents prédominants sont de direction Nord-Ouest qui soufflent surtout en hiver apportant des pluies, et Sud-ouest (sirocco) c'est le vent chaud et sec qui engendre des fortes évapotranspirations, dont la vitesse moyenne est de 2.7 m/s.

**III.3.3.Humidité du sol : Méthode DERVERTE :**

Le rapport P/T, établi mensuellement a pour but de connaître l'évolution de l'humidité du sol, il permet de définir quatre types de régime :

$p/t < 1$ : Régime très sec ;

$p/t < 2$  : Régime sec ;

$2 < p/t < 3$  : Régime subhumide ;

$p/t > 3$  : Régime humide ;

Le tableau suivant montre les rapports p/t mensuels, et les régimes correspondant.

Tableau N° 07: Rapports P/T mensuels et les régimes correspondants.

Station/Mois	(P) mm		(T)°C		P/T	
	Khenchela	Kheirane	Khenchela	Kheirane	Khenchela	Kheirane
Sep	58,8	31,7	23,48	20,1	2,5	1,58
Oct	44,34	28,2	17,41	14,2	2,55	1,99
Nov	44,6	21,5	10,94	9	4,08	2,39
Dec	56,23	24,1	7,36	6,5	7,64	3,71
Jan	44,6	27,6	6,13	5,4	7,28	5,11
Fev	25,19	28,9	7,3	6,5	3,45	4,45
Mar	39,78	34,1	10,79	8,5	3,69	4,01
Avr	55,69	37,7	13,69	11,5	4,07	3,28
Mai	68,28	33,4	18,31	15,6	3,73	2,14
Jun	18	18	26,08	21,4	0,69	0,84
Jui	18,8	5,6	27,14	25	0,69	0,22
Aou	48,06	10,7	20,1	24,4	2,39	0,44

### III.4. Bilan hydrologique :

Le bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition entre les différentes composantes du bilan hydrique : l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

L'évaporation est définie comme étant la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe, aussi bien, la lame d'eau évaporée à partir du substratum terrestre que celle transpirée par les plantes. Il faut distinguer entre l'évaporation potentielle (E.T.P) employée lorsque la surface évaporant est convenablement alimentée en eau, et l'évaporation réelle (E.T.R) qui tient compte de l'abondance de l'eau à la surface. L'ETR par définition, inférieur ou égale à l'ETP.

#### III.4.1.Évaporation :

##### III.4.1.1Évapotranspiration potentielle ETP :

On applique la méthode empirique de C.W Thornthwaite :

$$ETP \text{ (mm)} = 16 (10T/I)^a .$$

Cette méthode comporte le calcul des termes suivants :

- 1- Indice thermique mensuel :

Cet indice est calculé à partir de la température moyenne mensuelle (T), considéré

$$i = (T/5)^{1.51}$$

- 2- La somme des indices mensuels des douze mois de l'année  $I = \sum i$

Tableau N°08: Valeurs des indices thermiques mensuels.

Mois	i Khenchela	i Kheirane
spet	10,40	8,22
oct	6,61	4,86
nov	3,27	2,43
dec	1,80	1,49
janv	1,36	1,12
févr	1,77	1,49
mars	3,20	2,23
avrl	4,59	3,53
mai	7,14	5,60
jui	12,19	9,04
juil	12,95	11,44
aout	8,22	11,02
<b>Total</b>	<b>73,51</b>	<b>62,46</b>

3- Exposant climatique avec :  $a = 0.016 I + 0.5$

Valeurs de a : à Khenchela =  $0.016 * 73.51 + 0.5 = 1.67$

à Kheirane =  $0.016 * 62.46 + 0.5 = 1.5$

4- Valeurs de l'ETP : on appliquant la formule de C.W Thornthwaite

ETP (mm) =  $16 (10T/I)^a$ , les résultats sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau N°09: valeurs de l'évapotranspiration potentielle.

Mois	ETP (mm) Khenchela	ETP (mm) Kheirane
spet	112,57	92,37
oct	68,11	54,85
nov	31,20	27,67
dec	16,03	16,99
janv	11,79	12,86
févr	15,81	16,99
mars	30,49	25,40
avrl	45,48	39,97
mai	74,13	63,15
jui	134,29	101,47
juil	143,59	128,12
aout	86,70	123,54
<b>Total</b>	<b>770,20</b>	<b>703,38</b>

#### III.4.1.2. Evapotranspiration réelle ETR :

On peut la calculer à l'aide de plusieurs formules telle que :

Turc, Coutagne et Wundt.

**a- Formule de Turc :**

L.Turc, a établi une relation tenant compte des précipitations et à la température, son application sur 254 bassins dans le monde a donnée de bons résultats, elle est applicable à toute les régions :

$$\text{ETR (mm)} = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

P : désigne la pluviométrie moyenne annuelle en mm.

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$  ; avec : T : température moyenne annuelle en °C.

- Pour la station de Khenchela nous aurons :

$$P = 522.37 \text{ mm.}$$

$$\begin{aligned} L &= 300 + 25(15) + 0.05 (15)^3 \\ &= \mathbf{843.78} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ETR (mm)} &= P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2} \\ &= 522.37 / [0.9 + (522.37)^2 / (843.78)^2]^{1/2} \\ &= \mathbf{462.27 \text{ mm.}} \end{aligned}$$

Alors que : ETR = 462.27 mm, qui représente 88.49 % des précipitations.

- Pour la station de Kheirane nous aurons :

$$P = 301.5 \text{ mm.}$$

$$\begin{aligned} L &= 300 + 25(14) + 0.05 (14)^3 \\ &= \mathbf{787.2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ETR (mm)} &= P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2} \\ &= 301.5 / [0.9 + (301.5)^2 / (787.2)^2]^{1/2} \\ &= \mathbf{294.7 \text{ mm.}} \end{aligned}$$

Alors que : ETR = 294.7 mm, qui représente 97.8 % des précipitations.

**b- Formule de Thornthwaite :**

Le bilan de Thornthwaite fait intégrer, d'une part l'ETP, et d'autre part les précipitations.

Pour calculer l'ETR, deux cas sont considérés :

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP ; l'ETR est égale à l'ETP et on a alors un excédant en eau :  $P > \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = \text{ETP}$ .
- Si les précipitations mensuelles sont inférieures à l'ETP, le sol restitue l'eau emmagasinée jusqu'à l'épuisement des réserves :  $P < \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = P + \text{RFU}$ .

Le déficit du bilan égal à  $\text{ETP} - P$ .

$$\text{ETR} = \text{ETP} - \text{déficit agricole} = P - \text{excédent.}$$

Tableau N°10 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite a la station de Khenchela.

Mois	T°	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	DEF	EXC
Sept.	23,48	58,80	112,57	-53,77	0	58,8	53,77	0
Oct.	17,41	44,34	68,11	-23,77	0	44,34	23,77	0
Nov.	10,94	44,60	31,20	13,40	13,4	31,2	0	0,00
Déc.	7,36	56,23	16,03	40,20	50	16,03	0	3,6
Janv.	6,13	44,60	11,79	32,81	50	11,79	0	32,81
Févr.	7,30	25,19	15,81	9,38	50	15,81	0	9,38
Mars	10,79	39,78	30,49	9,29	50	30,49	0	9,29
Avr.	13,69	55,69	45,48	10,21	50	45,48	0	10,21
Mai	18,31	68,28	74,13	-5,85	44,15	74,13	0,00	0
Jui.	26,08	18,00	134,29	-116,29	0	62,15	81,44	0
Juil.	27,14	18,80	143,59	-124,79	0	18,8	124,79	0
Août.	20,10	48,06	86,70	-38,64	0	48,06	38,64	0
<b>Total</b>		<b>522,37</b>	<b>770,20</b>			<b>457,08</b>	<b>322,41</b>	<b>65,29</b>

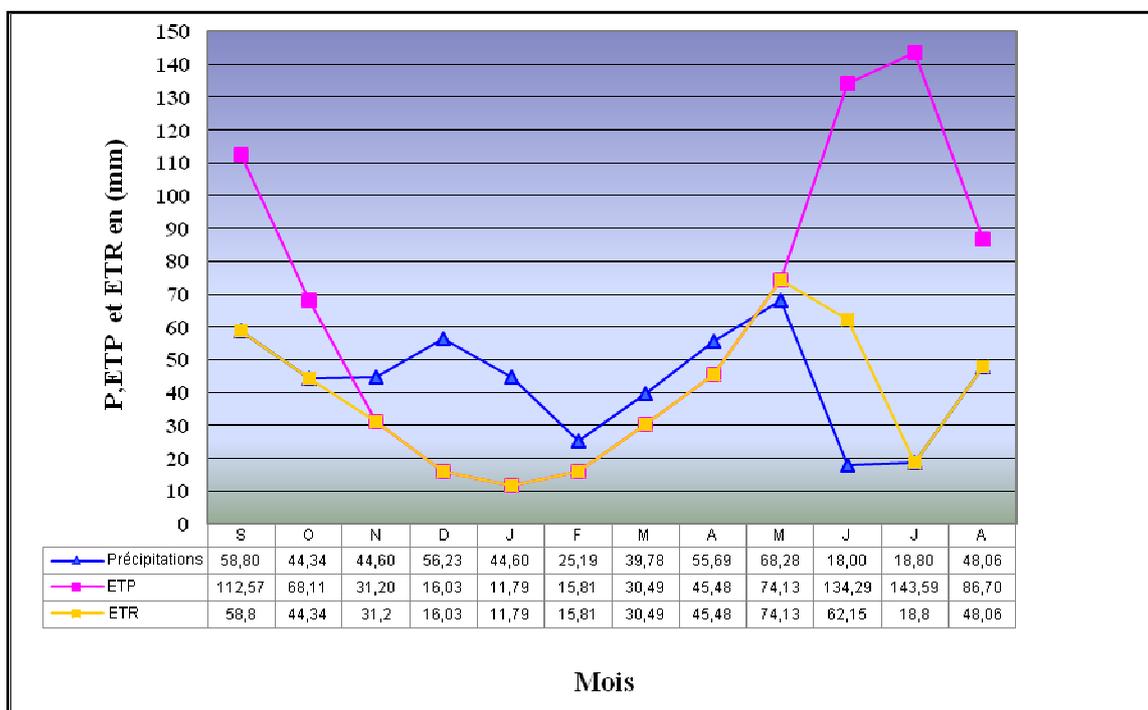


Figure N°13: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station Khenchela.

Ce graphe montre que l'évapotranspiration maximum a été observée pendant les mois de juin et juillet ce qui produit un déficit agricole, pendant les mois de décembre et janvier on observe une recharge au maximale.

Tableau N°11 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite a la station de Kheirane.

Mois	T°	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	DEF	EXC
Sept.	20,1	31,7	92,37	-60,67	0,00	31.70	60.67	0.00
Oct.	14,2	28,2	54,85	-26,65	0,00	28.20	26.65	0.00
Nov.	9,00	21,5	27,67	-6,17	0,00	21.50	6.17	0.00
Déc.	6,5	24,1	16,99	7,11	7,11	16.99	0.00	0.00
Janv.	5,4	27,6	12,86	14,74	21,85	12.86	0.00	0.00
Févr.	6,5	28,9	16,99	11,91	30	16.99	0.00	3.76
Mars	8,5	34,1	25,40	8,70	30	25.40	0.00	8.70
Avril	11,5	37,7	39,97	-2,27	27.93	39.97	0.00	0.00
Mai	15,6	33,4	63,15	-29,75	0	61.33	0.00	0.00
Jui	21,4	18,00	101,47	-83,47	0,00	18.00	65.49	0.00
Juil.	25,00	5,6	128,12	-122,52	0,00	5.60	122.52	0.00
Aoû.	24,4	10,7	123,54	-112,84	0,00	10.70	112.84	0.00
<b>Total</b>		<b>301,5</b>	<b>703,38</b>			<b>289.24</b>	<b>394.34</b>	<b>12.46</b>

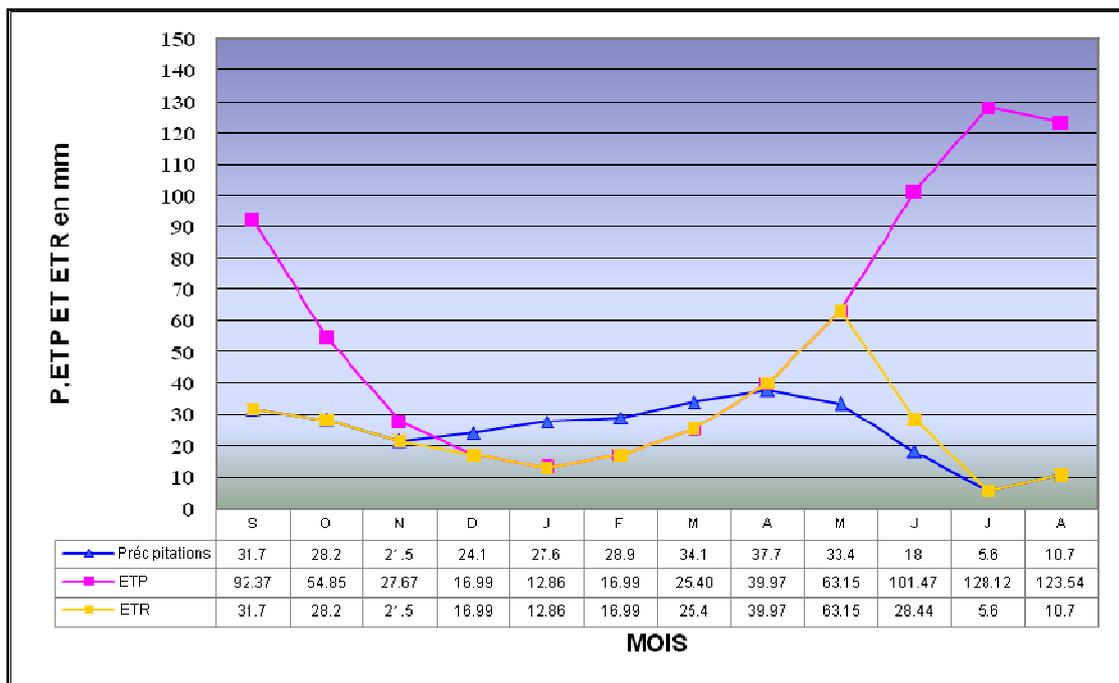


Figure N°14 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station Kheirane.

Ce graphe montre que l'évapotranspiration maximum a été observée pendant les mois de juillet et août pour ce qui produit un déficit agricole, par contre pendant les mois de janvier et février on observe une recharge considérable.

III.4.2. Ruissellement :

La lame d'eau ruisselée sera estimée par la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3*(ETP)^2.$$

A Khenchela  $P = 522.37$  mm,  $ETP = 770.20$ mm, donc  $R = 80.10$ mm, soit **15.33 %** des précipitations.

A Kheirane cette formule est inapplicable.

#### Remarque :

Les valeurs données par cette formule restent discutables, puisque ce dernier ne tient compte de la nature lithologique des terrains en d'autre terme, l'influence de la perméabilité sur le ruissellement est négligée.

#### III.4.3. Infiltration :

L'eau qui échappe à l'évaporation et à l'écoulement superficiel pénètre dans le sous sol et rejoint les nappes souterraines. Seule une partie de ces eaux peut reconstituer les réserves des nappes. Il s'agit ici de l'infiltration efficace, les calculs de l'infiltration visent donc à déterminer le taux de recharge des nappes.

En plus de l'approche par application du bilan :  $P = ETR + R + I$

-pour notre cas :  $P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - (ETR + R)$

- Station Khenchela  $= 522.37 - (457.68 + 80.10) = 15.41$ mm.

$I = 15.41$ mm, soit 2.95 % des précipitations.

- Station de Kheirane cette formule est inapplicable

On utilise aussi des mesures directes et les mesures indirectes.

Les mesures directes consistent en général à mesurer les vitesses d'infiltration ou de percolation de l'eau à travers la zone non saturée ainsi que le traçage isotopique.

Les mesures indirectes consistent, essentiellement, en l'étude des fluctuations des niveaux piézométriques. Ces études concernent, de ce fait la zone saturée. Cette méthode est basée sur le principe qui fait que l'évolution du niveau piézométrique, pour une nappe libre, est due à l'infiltration des eaux atteignant la surface de la nappe, le suivi des fluctuations doit être effectué en dehors des périodes de prélèvement d'eau à partir de la nappe (N. Chabor, 2005).

**Tableau N°12: les résultats calculés.**

station	ETR th		ETR turc		I		R	
<b>Khenchela</b>	<b>457.08</b>	<b>87.50%</b>	<b>462,27</b>	<b>88,49%</b>	<b>15.41</b>	<b>2.95%</b>	<b>80.09</b>	<b>15.33%</b>
<b>Kheirane</b>	<b>301.5</b>	<b>100%</b>	<b>294,7</b>	<b>97,80%</b>	-	-	-	-

### III.5.Conclusion :

Le climat est de type de transition, variant du type méditerranéen à semi aride au Nord au type aride au Sud.

Il est caractérisé par une grande variabilité annuelle et interannuelle.

La pluviométrie avec une moyenne de **522.37** mm à la station de Khenchela et **301.5**mm à la station de Kheirane , qui régit le régime des eaux souterraine et superficielles, se caractérise par des précipitations irrégulières ayant lieu, généralement, entre Septembre et Mai.

Les températures (moyenne est de l'ordre de **15°C**).

Le bilan hydrique de région d'étude montre les caractéristiques suivantes : une évapotranspiration réelle représentant 87.50 % à Khenchela et 100 % à Kheirane des précipitations et plus de 15.33% à Khenchela d'excédent qui se traduit plus tard en infiltration efficace prouvée par plusieurs auteurs.

Entre le Nord de Khenchela et le Sud on voit une grande variété climatique d'un climat semi aride ou nord et presque aride au Sud.

**IV.1.Introduction****Définitions et concepts de base :**

Les expérimentations sur terrain, par des puits ou des sondages, sont des tests portants par sur les modifications du comportement hydrodynamique du complexe aquifère/ouvrage de captage, en réponse à une impulsion créer par un pompage à débit constant. Leur exécution doit être conduite avec la même rigueur scientifique qu'une expérience de physique.

Les essais par pompage poursuivent quatre buts, dans l'ordre croissant de complexité :

- 1- détermination des caractéristiques du complexe aquifère/ ouvrage de captage. C'est l'essai de puits, destiné à l'équipement technique de l'ouvrage.
- 2- Mesure sur le terrain des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère: perméabilité transmissivité et coefficient d'emmagasinement.
- 3- Etude quantitative des caractéristiques particulières de l'aquifère : test des conditions aux limites, structure, hétérogénéité, drainance,...etc.
- 4- Observation direct, en vraie grandeur, de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère, prévision de l'évolution des rabattements en fonction des débits pompés. Evaluation de la ressource en eau souterraine exploitable (CASTANY).

**IV.2.Résultats des différents essais :**

Des essais de pompages par paliers et de longue durée ont été réalisés sur quatre forages au période de l'été de l'année (2011), Forage de Oglet Baara, Kheirane Takanzout, Remila et Tachekarenet El Hamma :

Les forages sont implanté dans les formations du Quaternaire formé de terre arable ; argile, sables et calcaire lacustre, le Crétacé formé de marne et marno-calcaires le miocène formé des grés blancs grossiers, les marnes biomicrites et biomicroparites.

Les essais de pompages au niveau de ce forage ont été réalisés à trois paliers avec une durée de 24h.Les données de ces essais sont représentées dans le tableau suivant N°13 :

On note que l'absence des piézométries d'observation on ne dispose comme mesure de rabattement des nappes que des mesures effectuées dans les forages eux même on réalise le pompage en relevant régulièrement les niveaux piézométriques pendant l'abaissement et la remonte du niveau de l'eau, on peut estimer les paramètres hydrodynamique a l'aide des donnes des forages seulement.

Tableau N° 13 : Données des essais de pompage par palier des forages (D.H.W 2011)

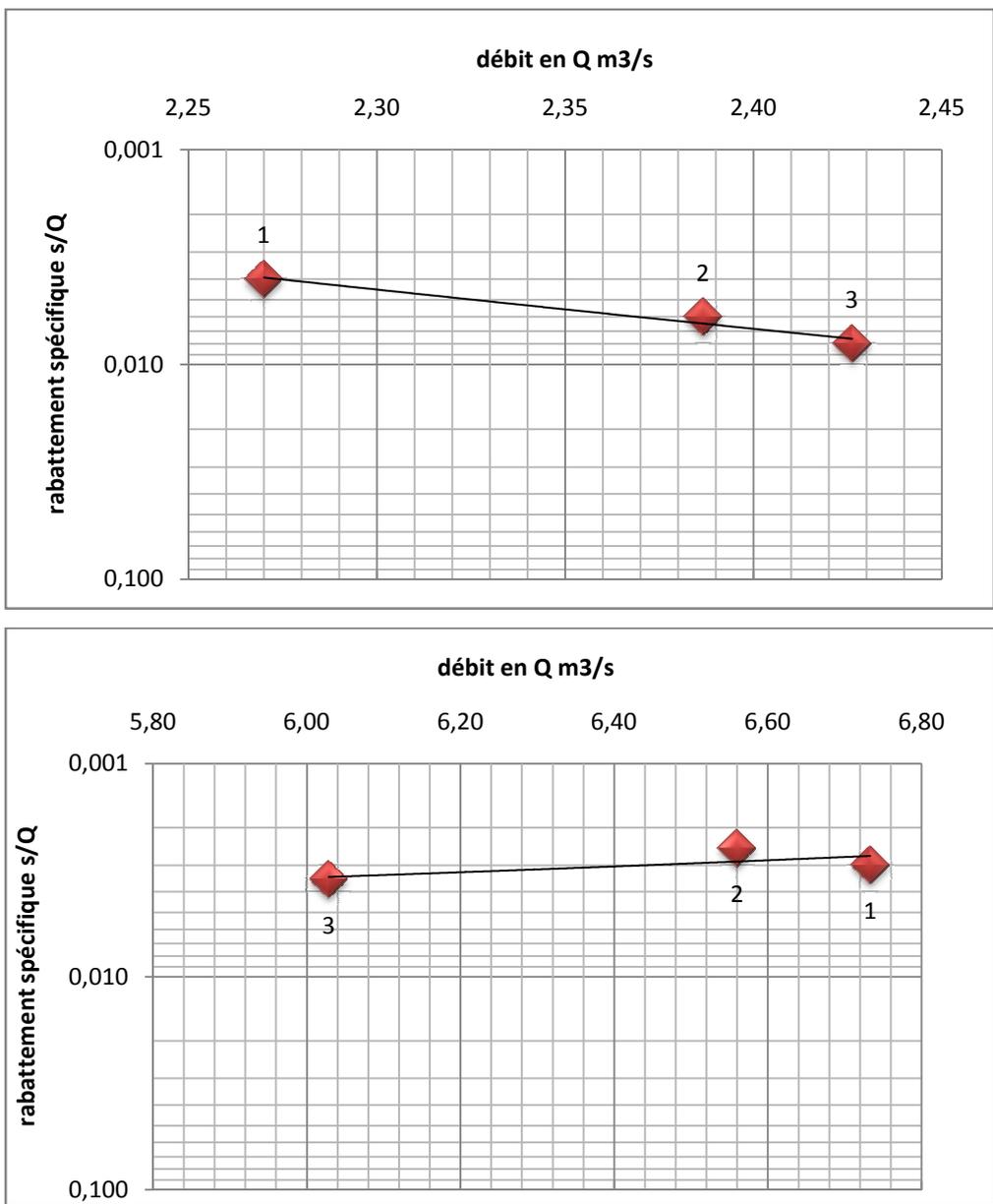
Forages	Palier N°	Durée H	N S m	N D m	Débit l/s	Remontée H	Rabattement m
FOB 07 Oglet Baara	1	8	14.29	31.38	17.54	2	8.87
	2	8	9.98	21.15	11.17	3	3.71
	3	8	8.4	23.57	15.17	4	3.79
F Kheirane Takanzout	1	8	11,6	28,4	2,5	6	16,4
	2	8	11,6	31,8	3	9	20,2
	3	8	11,6	33,1	3,5	11	21,1
P2R02 Remila	1	8	7,2	27,9	18	24	20,7
	2	8	7,2	28,76	25	24	21,56
	3	8	7,2	29,2	30	23	22
Tachekarenet El hamma	1	8	1.85	9.55	20	8	7.70
	2	8	1.1.6	16.56	30	8	14.71
	3	8	1.89	24.42	36	8	25.6

#### IV.2.1.Représentation graphique des données et interprétation :

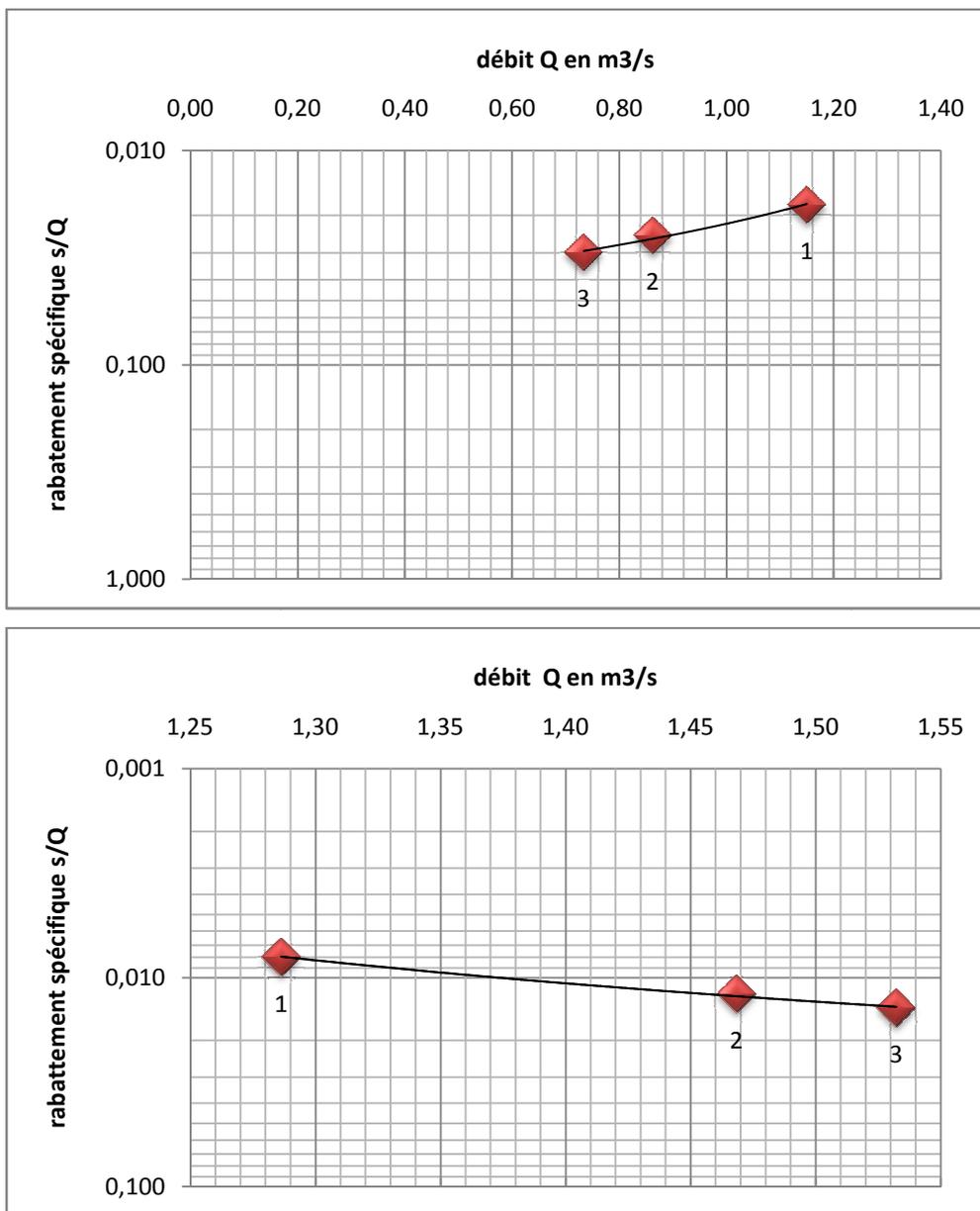
##### IV.2.1.1.Droite : débit/rabattement spécifique : $(S/Q = f(Q))$ .

Le rabattement spécifique  $(S/Q)$ , est la valeur de rabattement mesurée dans le forage rapportée au débit pompé  $(Q)$ , dans les conditions d'essais de pompage ; il est exprimé en  $[m/l/s]$ .

Les trois couple des valeurs  $(S/Q = f(Q))$ , sont portés sur un graphe, il est impossible de prévoir un cas des courbe traduisant une relation, cela est dû a une anomalie causée par le non respect de la procédure de déroulement des essais par paliers, donc le calcul des pertes de charges linéaires et quadratiques est impossible : l'essais est incorrect.



**Figure N° 15: Droite représentative (débit/rabattement spécifique)  
Des forages Fob 07 Oglet Bara et F Kheirane Takanzout respectivement.**



**Figure N° 16: Droite représentative (débit/rabattement spécifique)  
Des forages P2R02 Remila et Tachekarenet El Hamma respectivement.**

**IV.2.1.2.Courbe de descente :**

Pour la courbe de descente, les données de l’essai de pompage sont reportées sur un papier graphique semi logarithmique.

Les temps de pompage sont exprimés en minute et représentent en abscisse logarithmique et les rabattements sont exprimées en mètre et représentés en ordre linéaire.

**IV.2.1.3.Courbe de remontée :**

L'équation de la courbe de remontée est de type :

$$S_r = I [\text{Log} (t-t')/t'] , \text{ d'où :}$$

$S_r$  : désigne le rabattement résiduel, exprimé en minute ;

$t$  : désigne la durée de pompage, exprimé seconde ;

$t'$  : désigne le temps écoulé depuis l'arrêt du pompage exprimé en seconde ;

**IV.2.1.4.Interprétation quantitative :**

La méthode appliquée est celle de (E.Jacob, 1950), car la composante verticale de la vitesse est négligeable et le rabattement varie en fonction du temps :

Equation de descente :  $S = 0.183 (Q/T) \text{ Log} [2.25Tt/X^2 s].$

Equation de remontée :  $S_r = 0.183 (Q/T) \text{ Log} [t+t'/t'].$

$S$  : désigne le rabattement observé au temps  $t$ , en m ;

$S_r$ : désigne le rabattement résiduel, en mètre ;

$Q$  : désigne le débit de pompage, en l/s ;

$T$  : désigne la transmissivité de l'aquifère, en m<sup>2</sup>/s ;

$t$  : désigne la durée de pompage, en seconde ;

$t'$  : désigne le temps écoulé depuis l'arrêt de pompage ; en seconde ;

$X$  : désigne la distance du forage de pompage à un piézomètre, en mètre ;

$s$  : désigne le coefficient d'emmagasinement ;

**Tableau N°14 : Données des essais de pompage définitif des forages.**

Forages	FOB 07 Oglat Bara	F Kheirane Takanzout	F P2R02 Remila	F Tachekarenet El Hamma
Temps de pompage(H)	36	72	72	48
Débit (L/S)	12	2,51	30	44
Niveau statique(m)	9,24	11,6	7,2	1,89
Niveau dynamique(m)	45	28,4	33,2	36,66

Les forages captés en différentes niveaux aquifères les forges de Remila et Oglet Bara ont captée la nappe quaternaire Remila dans le nord des formations alluvionnaires et Oglet Bara dans le sud des formations sableuses, le forage d'el Hamma dans la nappe miocène avec des formations argiles, marnes et des grés, le forage de Kheirane et dans la nappe crétacé ces formations de marnes, calcaire, marno-calcaire, calcaire karstifie.

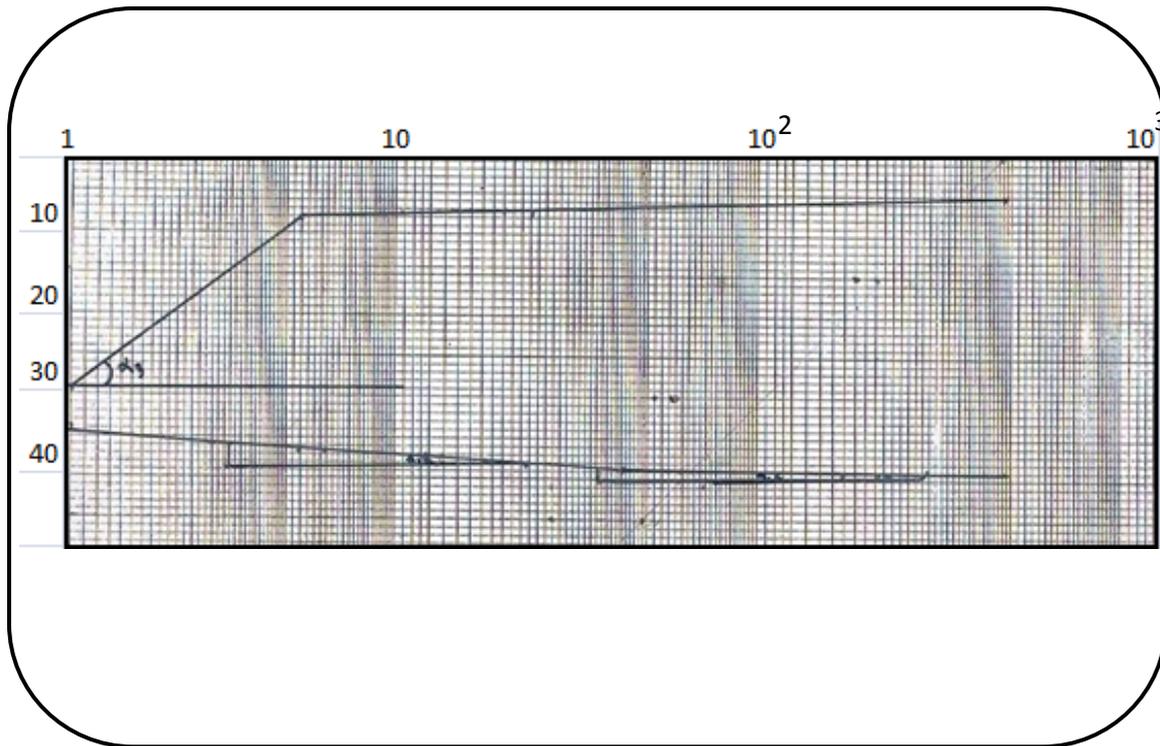


Figure N°17: Graphique représentatif de courbe descente et remonte du forage d'El Hamma.

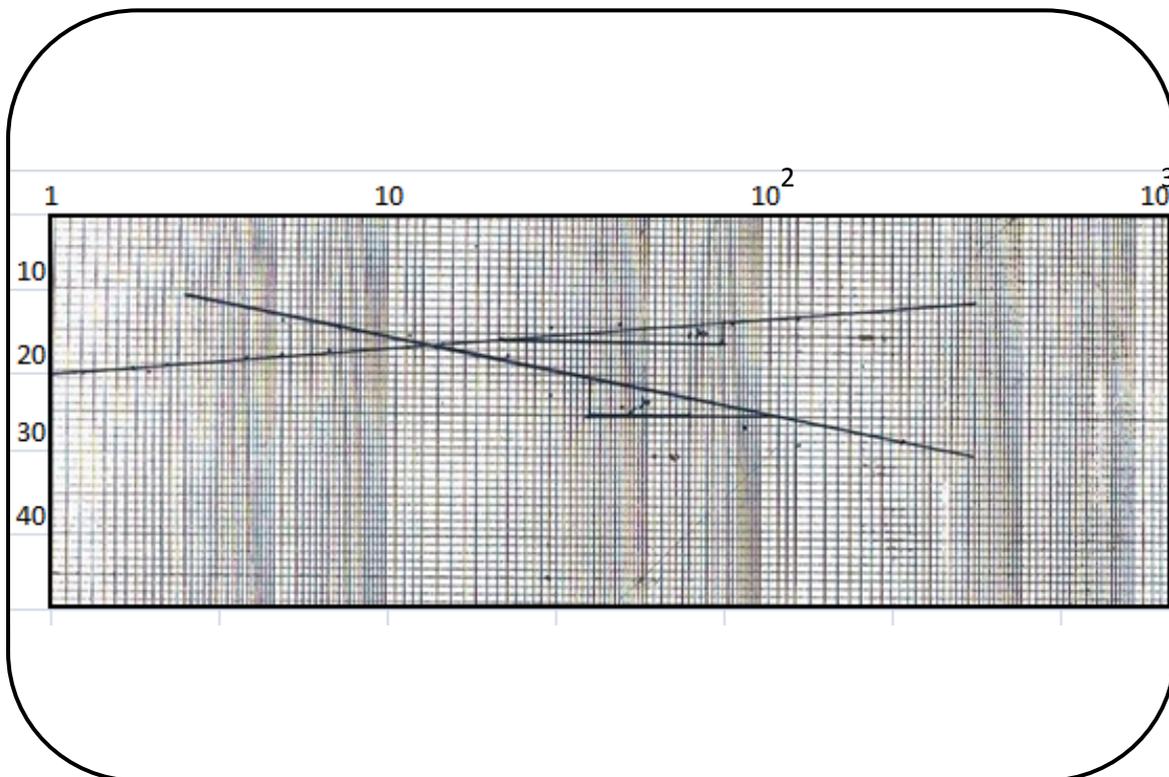


Figure N°18 : Graphique représentatif des courbes descente et remonte du forage de Kheirane Takanzout.

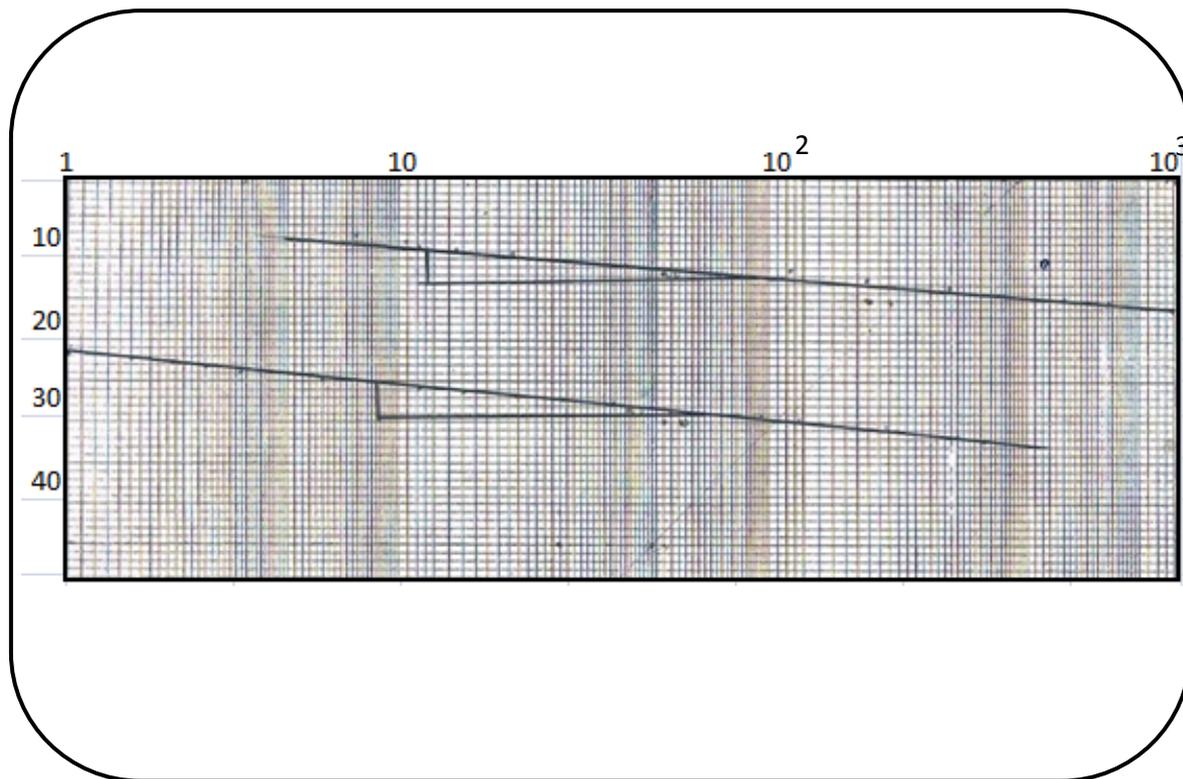


Figure N°19 : Graphique représentatif des courbes descente et remonte du forage de Remila.

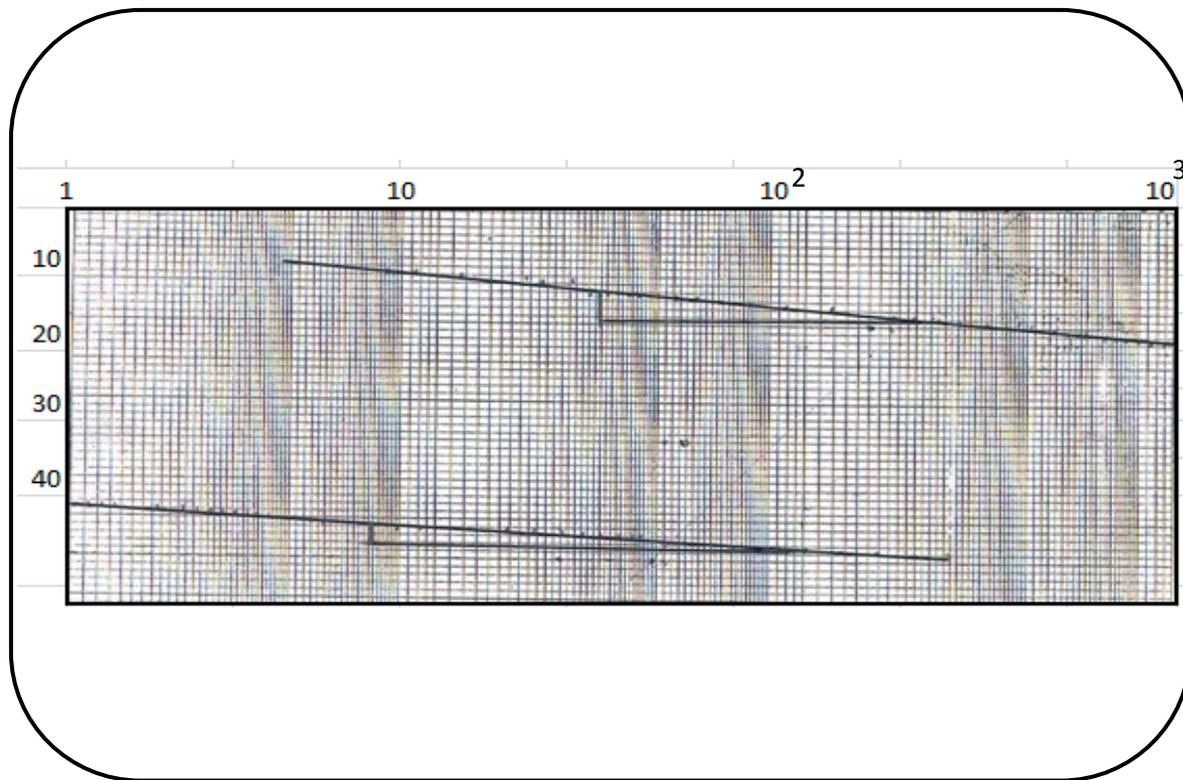


Figure N°20 : Graphique représentatif des courbes descente et remonte du forage de Oglet Bara.

**IV.2.1.5. Interprétation des courbes de descende :**

Les droites représentatives ont des pentes différentes pour un cycle logarithmique, ce type hydrodynamique caractérise d'une nappe libre où captive limité latéralement par une limite a potentiel impose (front d'alimentation), a partir de cet instant la courbe de dépression réelle atteint une position d'équilibre, le rabattement cesse d'augmenter en fonction du temps et le régime d'écoulement devient permanent. Les caractéristiques hydrogéologiques des nappes sont adaptées au débit du pompage et le niveau aquifère rééquilibre son bilan l'établissement de cette état d'équilibre est déterminée essentiellement par le régime d'alimentations de la nappe plusieurs phénomènes peuvent entrer en actions.

! Alimentations par les propres réserves de nappe.

! Présence d'un front potentiel impose a proximité du point de pompage (suralimentation).

On note que dans le courbe de descende la droite brisé avec une pente doublée il débite avec une vitesse rapide puis il tient son équilibre expliqué par l'hypothèse de limité latéralement par une limite étanche (passage latéral de facies ou faille).

**IV.2.1.6. Interprétation des courbes de remontée :**

Les droites représentatives ont des pentes différentes pour un cycle logarithmique, La remonte est caractérisée par des différentes vitesses en particulier dans la courbe de el Hamma en remarque la droite brisée avec une pente doublée, Il débite avec une vitesse rapide puis il tient son équilibre expliqué par l'hypothèse de limité latéralement par une limite étanche (passage latéral de facies ou faille), les résultats des calculs des paramètres hydrodynamique sont tabulée au dessous.

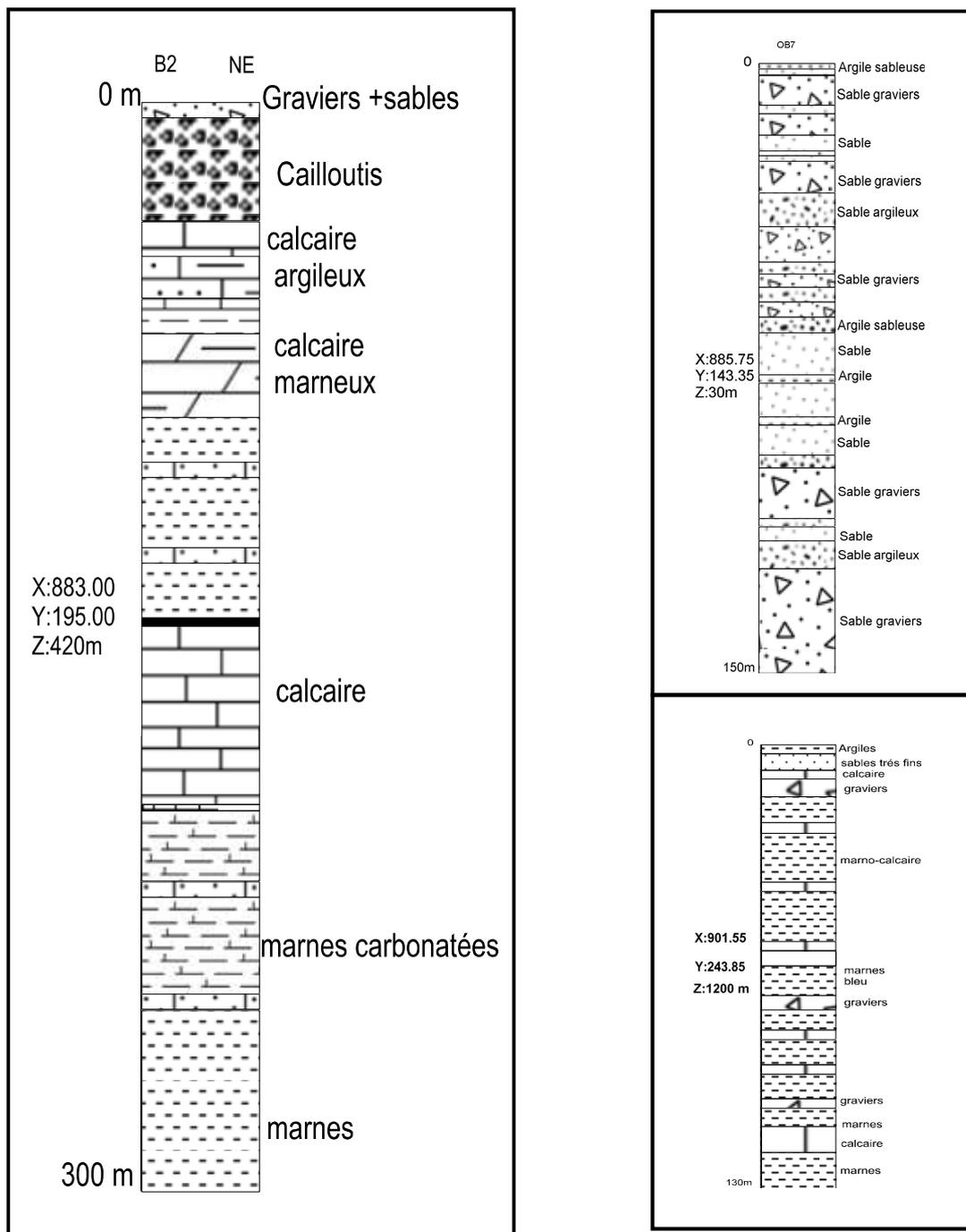


Figure N°21: Log lithologique du forage de Kheirane Takanzout, d'Oglat Bara et d'El Hamma.

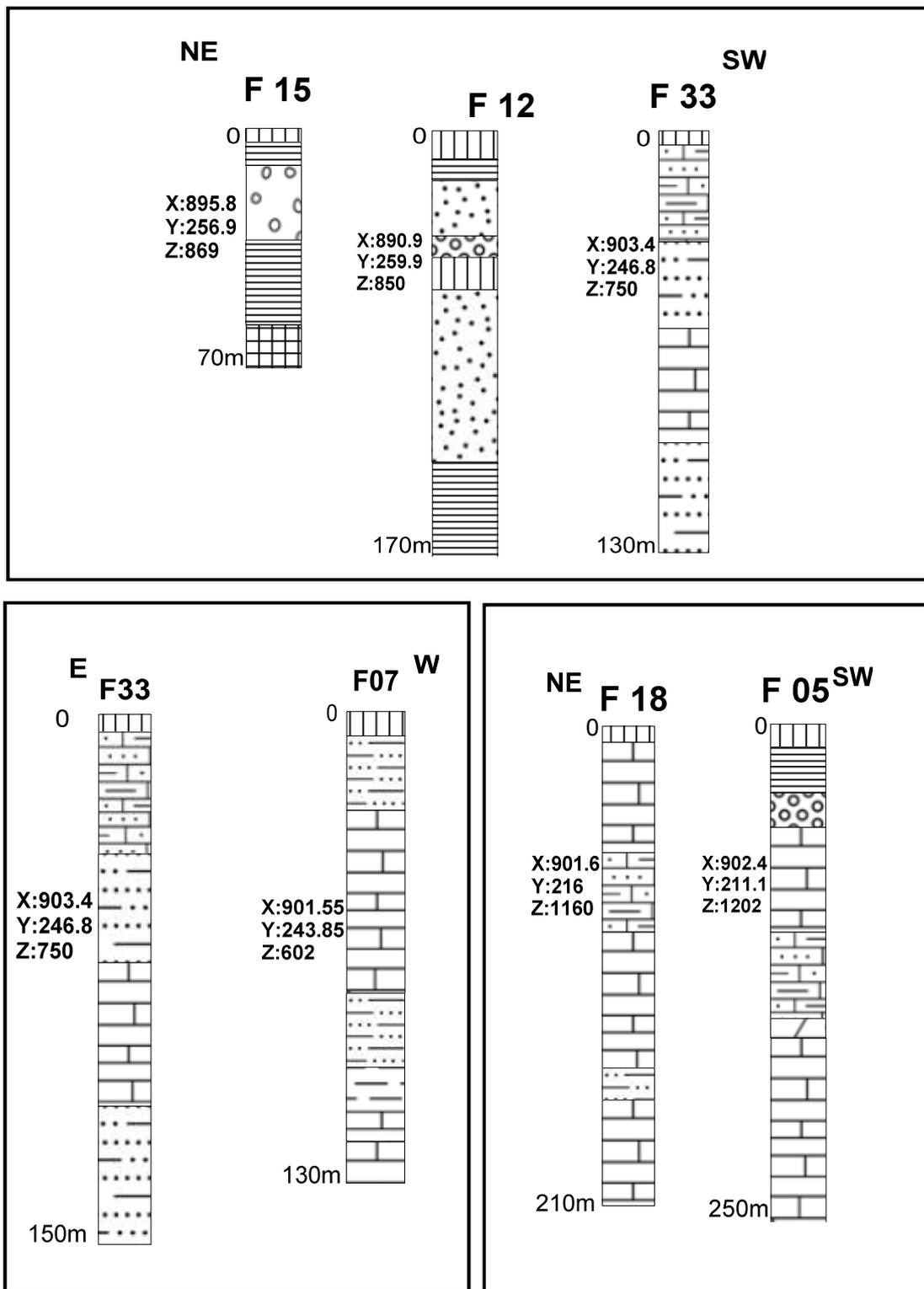


Figure N°22 : Log Lithologique Des Forages.

**IV.3.Paramètres hydrodynamiques :**

**IV.3.1.La Transmissivité :**

La transmissivité d'un aquifère c'est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur (m) d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique (i).

Elle évalue la fonction conduite de l'aquifère, c'est aussi le pouvoir d'un aquifère de transmettre de l'eau sous pression. Elle est exprimée en m<sup>2</sup>/s, et elle est donnée par la formule suivante :

$$T = 0.183 Q/C \text{ d'où ;}$$

T : désigne la transmissivité en m<sup>2</sup>/s ;

Q : désigne le débit de pompage en m<sup>3</sup>/s ;

C : désigne la pente de la droite représentative, déterminé comme suit :

Pour la courbe de descente « C », est donnée par :

$$C = \Delta S / \Delta \text{Log } t = (S_2 - S_1) / \Delta \text{Log } t.$$

Pour la courbe de remontée « C », est donnée par :

$$C = \Delta S / \Delta \text{Log } [t + t'] = (S_2 - S_1) / \Delta \text{Log } [t + t' / t'].$$

Les différentes valeurs de “ C “, calculées à partir des graphes de remonté et de descente représentées dans le tableau suivant:

**Tableau N° 15: valeurs des Transmissivités.**

Forages	Phases	Débit m <sup>3</sup> /s 10 <sup>-3</sup>	Pente moyenne (m)	Transmissivité m <sup>2</sup> /s 10 <sup>-3</sup>
FOB07Oglat Baara	Descende	12	2,5	0.87
	Remontée	12	3,5	0.63
F Kheirane Takanzout	Descende	5	18,5	4.94
	Remontée	5	23	3.97
F P2R02 Remila	Descende	30	4	1.37
	Remontée	30	4	1.37
Tachekarenet El Hamma	Descende	44	2,25	3.57
	Remontée	44	4	2.06

La valeur de la transmissivité durant la descente est la bonne valeur.

Un aquifère est très intéressant a exploité si sa transmissivité est au moins égale a 150m<sup>3</sup>/j/m.

L'exploitation est encoure valable pour des valeurs comprises entre 15 et 150m<sup>3</sup>/j/m mais au dessus de 15 m<sup>3</sup>/j/m de transmissivité le forage ne servir qu'une petite forme: donc 4.94 m<sup>2</sup>/s 10<sup>-3</sup>\*1m\*3600\*24= 426 m<sup>3</sup>/j/m ;donc notre aquifère est très intéressant.

Notons, que cette valeur traduise une passable transmissivité de l'aquifère.

Pour le calcul de paramètres hydrodynamique on prend les valeurs de la pente de la courbe de remontée par ce que on concédera que le régime laminaire est atteint et que la remontée se fait par tubations du régime d'eau.

**IV.3.2. La perméabilité :**

La perméabilité d'un aquifère K, est définie comme suit :

C'est la quantité de fluide traversant une unité de section perpendiculaire à un écoulement sous un gradient égale à l'unité et donnée par la formule simplifiée suivante :

$K = T/e$  avec ;

K : désigne la perméabilité en m/s ;

T : désigne la transmissivité en m<sup>2</sup>/s ;

e : désigne l'épaisseur de la couche aquifère ;

Les différentes valeurs de K sont représentées, dans le tableau suivant :

**Tableau N°16 : valeurs des perméabilités.**

Forages	Phases	Transmissivité m <sup>2</sup> /s 10 <sup>-3</sup>	Epaisseur m	Perméabilité m/s	Perméabilité moyenne m/s
FOB 07 Oglat Baara	descende	0.9	60	1,5*10 <sup>-5</sup>	1,25*10 <sup>-5</sup>
	Remontée	0.6	60	1*10 <sup>-5</sup>	
F KHEIRANE Takanzout	descende	0.049	16,9	2,9*10 <sup>-6</sup>	2,6*10 <sup>-6</sup>
	Remontée	0.039	16,9	2,3*10 <sup>-6</sup>	
F P2R02 Remila	descende	1	57	1*10 <sup>-5</sup>	1*10 <sup>-5</sup>
	Remontée	1	57	1*10 <sup>-5</sup>	
Tachekarenet El hamma	descende	3	17,4	1,7*10 <sup>-4</sup>	2,25*10 <sup>-4</sup>
	Remontée	3,8	17,4	2,8*10 <sup>-4</sup>	

La valeur moyenne de la perméabilité K<sub>m</sub> est la valeur caractéristique de l'aquifère :

$K_m = K_d + K_r / 2.$

→ Perméabilité bonne : K varie de 10<sup>-1</sup> à 10<sup>-4</sup> m/s.

→ Perméabilité mauvaise : K varie de 10<sup>-4</sup> à 10<sup>-9</sup> m/s.

→ Perméabilité médiocre : K < de 10<sup>-9</sup> m/s.

**IV.3.3.Coefficient d'emmagasinement :**

Le coefficient d'emmagasinement (**storage coefficient**)  $S$ , est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné, par unité de surface de l'aquifère un  $m^2$  à la variation de charge hydraulique  $h$  correspondante (**Gilbert Castany, 1982**). Dans notre cas on ne peut pas calculer  $S$ , par manque d'un piézomètre d'observation.

$$S=2.25Tt_0/X^2.$$

**IV.4.Conclusion:**

Les données d'essai de pompage des quatre forage dans les région de l'el Hamma Kheirane, remila et oglebbaara nous a permis de conclue les résultats suivantes :

Les nappes de de la région de Khenchela sont des nappes libre où captive.

Les paramètres hydrodynamique de la région de Khenchela varie d'une terrain a une autre ainsi que d'une nappe a une autre.

Les valeurs de la transmisivite varie de  $0.6310^{-3}$  à  $4.94 10^{-3} m^2/s$ , et la valeur de la transmissivité durant la descente est la bonne valeur.

Les valeurs de la perméabilité varie de  $2,6*10^{-6}$  à  $2,25*10^{-4}$  à  $m/s$  et c'est perméabilité mauvaise.

La nappe miocène présente une bonne transmissivité et une bonne perméabilité.



V.1.Introduction

L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère, sa géométrie, sa limite et son alimentation, et de définir l'ensemble du système d'écoulement souterrain par l'étude de la piézométrie.

V.2.Situation de Khenchela par rapport aux bassins versants:

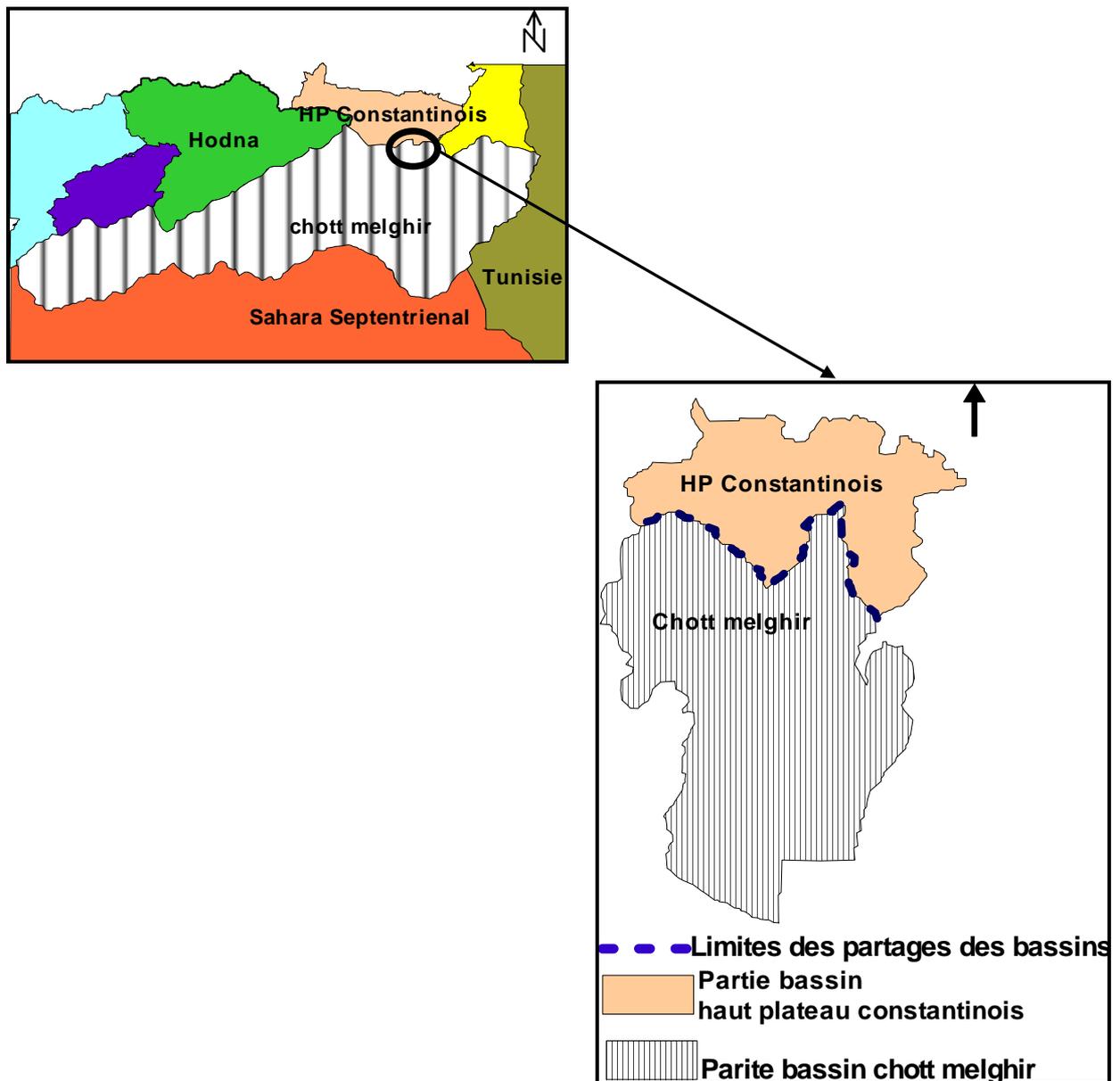


Figure N°23: Cartes de situation de Khenchela dans les bassins versants.

### V.3. Identification des nappes aquifères :

Dans notre région on a quatre nappes aquifères qui sont identifiées comme la suite :

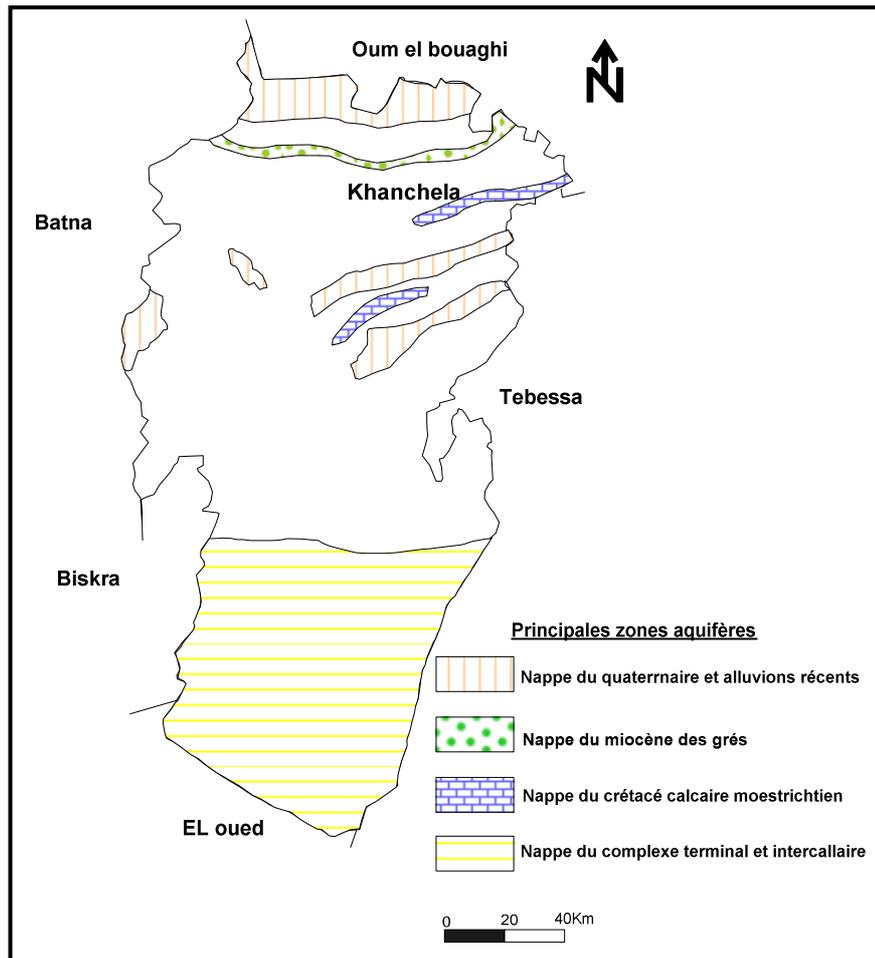


Figure N°24 : Carte des nappes aquifères (DHW. 1992)

#### V.3.1. Les nappes superficielles :

Elles sont importantes en raison de leur extension, il s'agit de nappes phréatiques, essentiellement captées par de nombreux puits dont la profondeur varie de 5 à 30 m.

#### V.3.2. Les nappes des plaines d'effondrement:

Comblées par un remplissage d'alluvions important, alimentées par les précipitations et les oueds qui les traversent, leurs profondeurs variant de 100 à 200 m sont localisées essentiellement dans les plaines de Remila, M'toussa, d'El mahmel, de Guerat Taref et la plaine de Mellagou et sont en général d'âge mio-pliocène.

Dans ces nappes on peut associer également la nappe des calcaires Turoniens donnant un débit de 8 à 15 l/s et les grés fissurés du miocène dont la profondeur ne dépasse pas les 300 m avec des débits allant de 10 à 44 l/s.

**V.3.3. Certaines formations calcaires :**

Étendues fissurées constituent la nappe des calcaires maestrichtien dont l'épaisseur dépassent les 250 m localisée essentiellement dans les régions suivantes : Hamam kenif, la région de Mahmel, Babar et la région de Ain-Touila, cette formation a été testée par des forages donnant des débits allant de 20 a 110 l/s.

**V.3.4. La nappe du complexe terminal et du continental intercalaire :**

Les nappes de formation continentale sont localisées essentiellement dans la zone sud dont les profondeurs varient de 200 m a 600 m, dans la partie nord elles sont captive sur une grande partie du bassin allant de la wilaya de Biskra a la frontière de la wilaya de Tébessa.

**Tableau N°17 : Les formations aquifères au niveau de la région de Khenchela.**

Age	Epoque	Etage	
Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire	Système aquifère du Quaternaire
Cénozoïque tertiaires	Miocène	Tortonien supérieur m3	
		Tortonien gréseux m2	
		Langhien	Système aquifère du Miocène
		Serravallien	
Mésozoïque	Crétacé supérieur	Campanien C5	
		Santonien faciès récifal C4	
		Santonien faciès marneux C4	
		Canocien C3	Système aquifère du Crétacé
		Turonien moyenne et supérieur	
		Turonien basale C2a	
		Cénomaniens supérieur C1a	
		Cénomaniens moyenne C1b	
	Trias	Trias Alpine	

**V.4. Piézométrie des aquifères de la région :**

Dans la région étudiée, plus de 80% de la consommation en eau est destinées à l'irrigation. L'eau d'irrigation provient globalement des ressources en eau souterraine, exploitées notamment par des forages et puits .

Cette dépendance des nappes, très élevée, se justifie par le nombre d'habitants en pleine croissance dont les besoins en d'eau deviennent importants, et la production agricole en expansion, qui nécessite une gestion intégrée et durable des ressources en eaux souterraines.

Les données recueillies concernent l'étude de la région de Khenchela et l'inventaire des forages et débits extraits d'ANRH.

La carte piézométrique d'une nappe permet une vision instantanée de son état à un moment précis, elle sera donc établie durant une période très courte, la surface piézométrique s'interprète de la même façon qu'une surface topographique.

Trois cartes ont été réalisées pour identifier ces aquifères, la carte piézométrique du Quaternaire, la carte piézométrique du Crétacé et la carte piézométrique du Miocène .

## V.4.1. La nappe du Quaternaire:

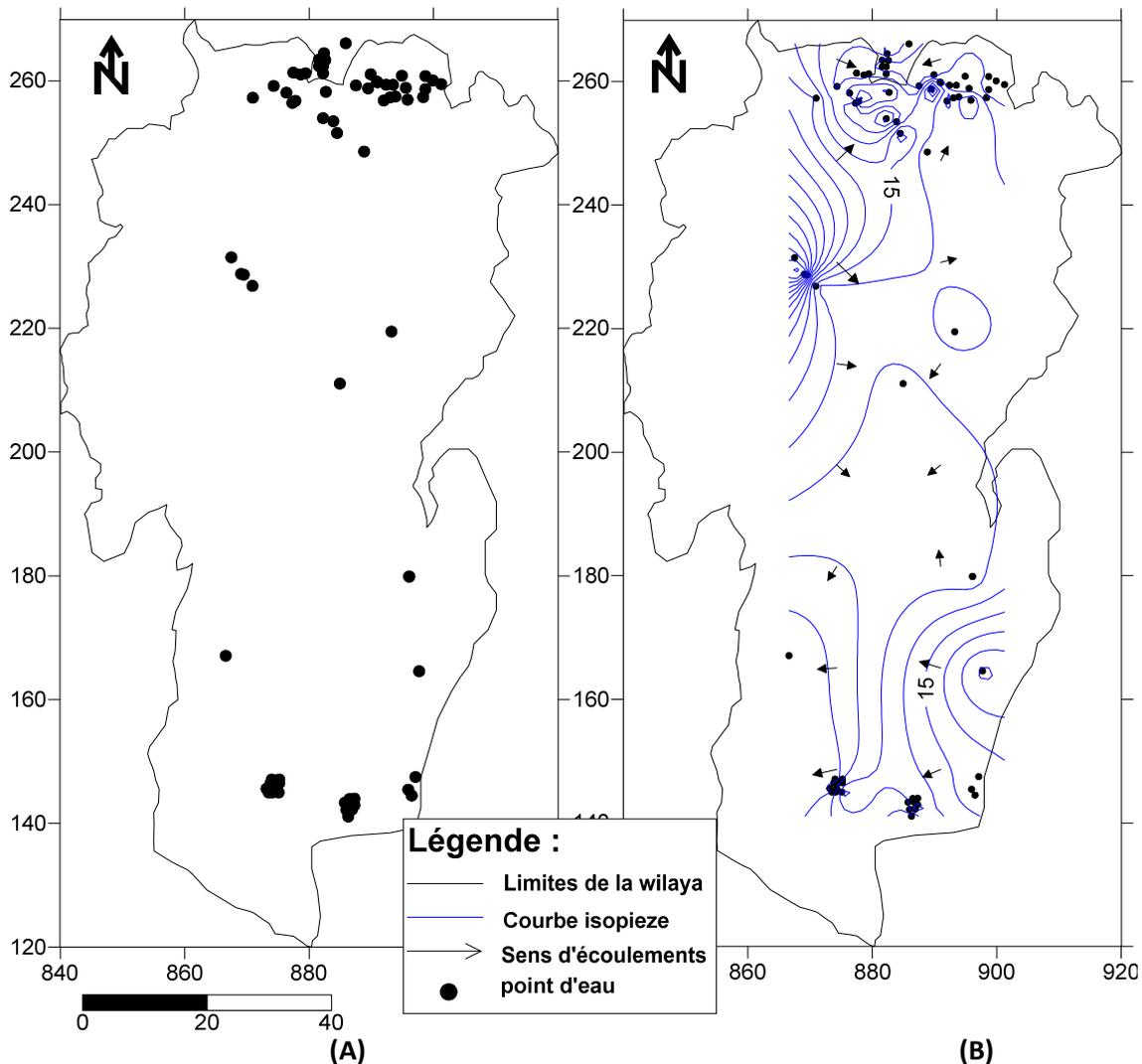


Figure N°25 : A) Cartes d'inventaire des points d'eau dans la nappe du Quaternaire.

B) Carte de la piézométrie dans la nappe du Quaternaire. (ANRH 2008).

A partir de la carte piézométrique de la nappe du Quaternaire et la direction des axes d'écoulement il en sorte les informations suivantes :

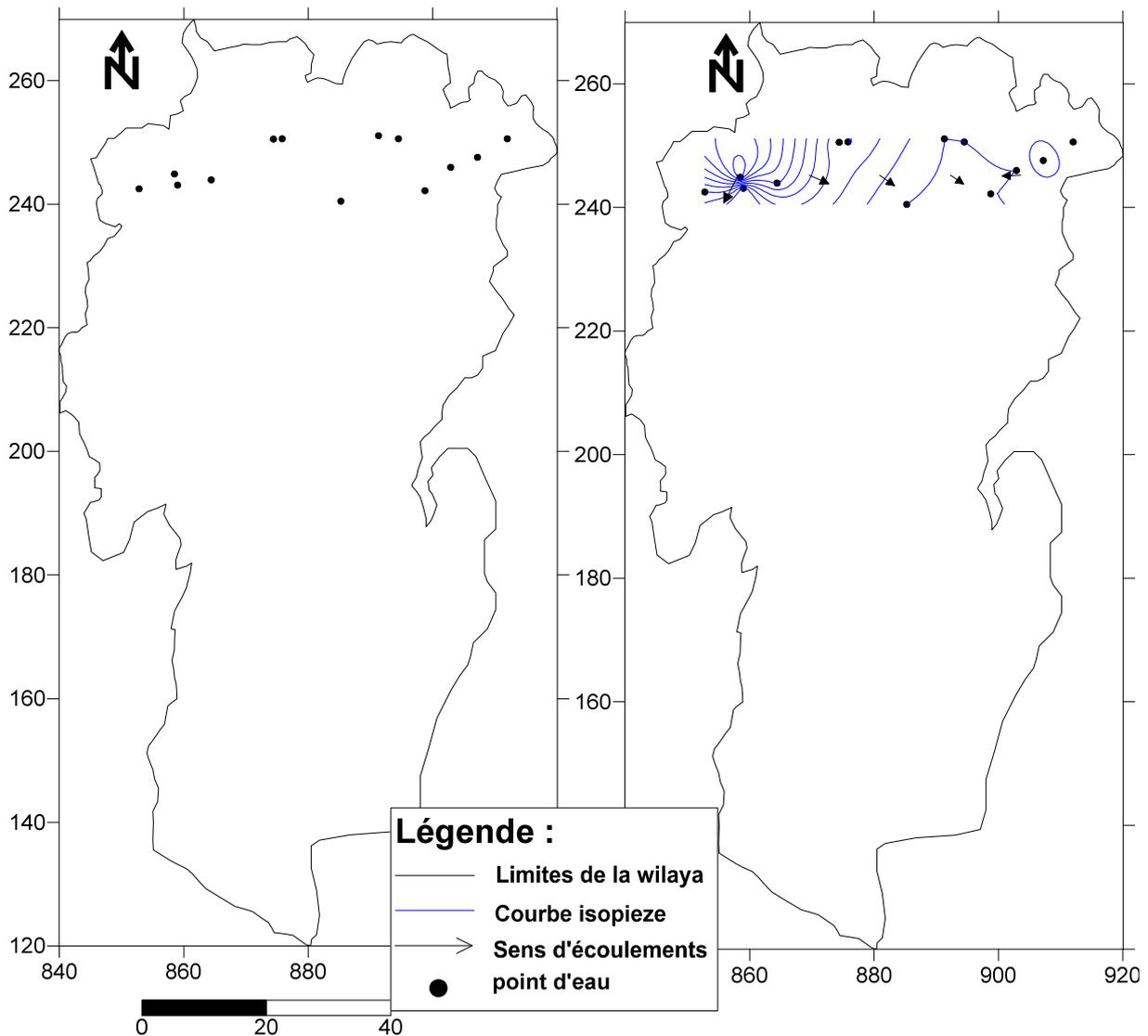
Les lignes iso-pièzes sont généralement parallèles, serrées dans la partie nord et espacées dans la partie sud les axes d'écoulement sont de direction.

- Sud Ouest -Nord Est et, sud ouest-Nord Est dans la partie nord.
- Nord Est-Sud Ouest et Sud Est-Nord Ouest dans le secteur Sud.

Les courbes serrées traduisent par un gradient hydraulique fort et une vitesse d'écoulement élève et une faible perméabilité (formation piémont).

Les courbes espacées traduisent une bonne perméabilité et un gradient hydraulique faible et une vitesse d'écoulement faible (formation gréseuse dans la partie centrale et sableuse dans la partie Sud).

V.4.2. La nappe du Miocène.



(A)

(B)

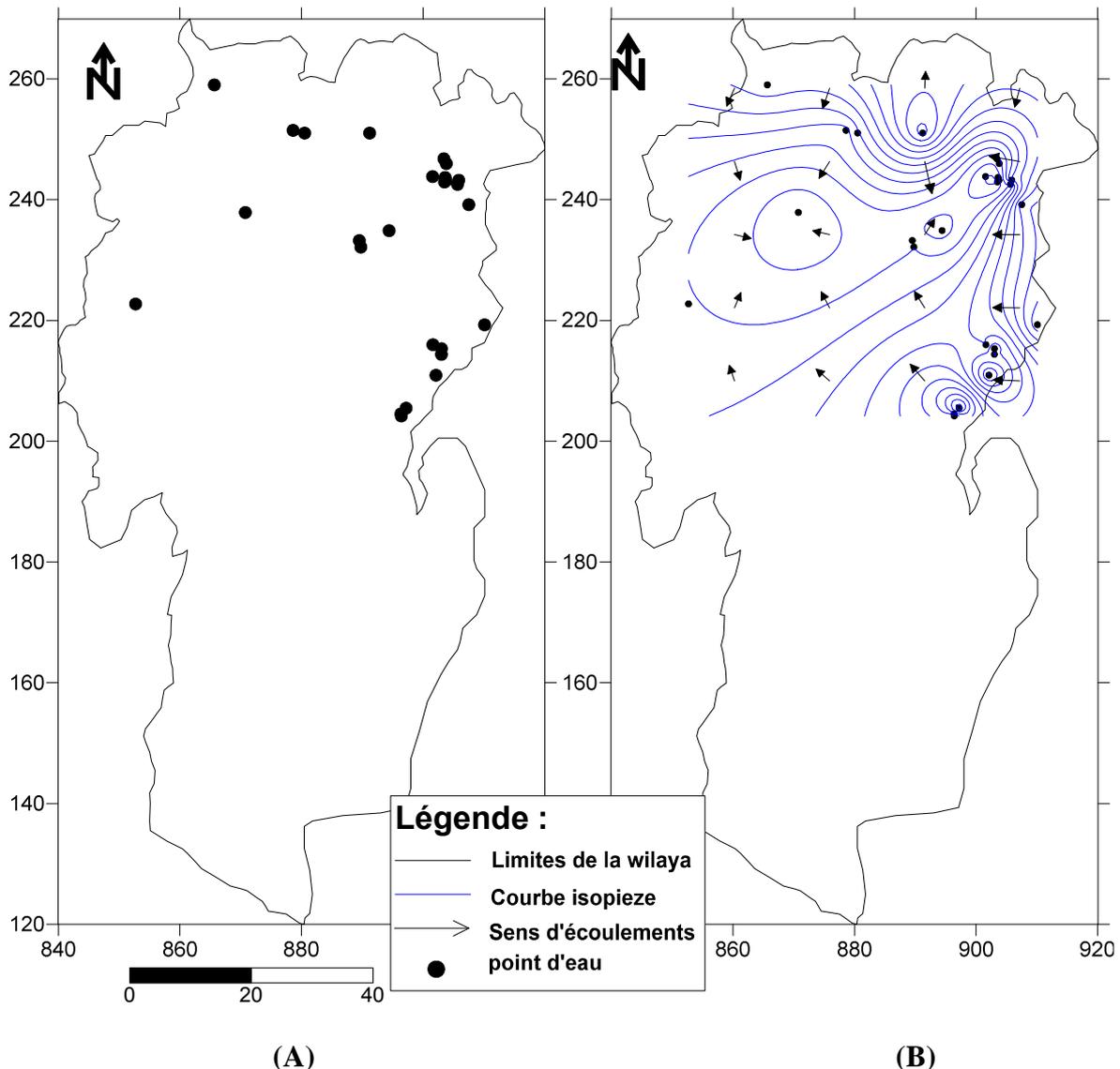
Figure N°26 : (A) Carte d'inventaire des points d'eaux dans la nappe du Miocène.

(B) Carte piézométrie dans la nappe du Miocène. (ANRH 2008).

Pour la carte du Miocène le sens d'écoulement est de direction Ouest vers Est, et de l'Est vers l'Ouest remarqué à la partie centrale.

Les lignes iso-pièzes sont généralement parallèles, serrées dans la partie Ouest qui traduit par un gradient hydraulique fort et une vitesse d'écoulement élève et une faible perméabilité et espacées dans la partie centrale traduit par une bonne perméabilité et un gradient hydraulique faible et une vitesse d'écoulement faible dans les plaines.

## V.4.3. La nappe du Crétacé:



**Figure N°27 : (A) Carte d'inventaire des points d'eaux dans la nappe du Crétacé.**

**(B) Carte piézométrie dans la nappe du Crétacé. (ANRH 2008).**

Dans la carte piézométrique de la nappe du crétacé les directions des axes d'écoulement sont

- Nord et Nord Est-partie centrale
- Sud -Nord Est et, sud -Nord Ouest au Sud de la carte.

Les lignes iso-pièzes sont généralement parallèles, serrées dans la partie Sud- Est qui traduisent un gradient hydraulique fort et une vitesse d'écoulement élevée et une faible perméabilité et débit d'espace dans la partie ouest traduit par une bonne perméabilité et un gradient hydraulique faible et une vitesse d'écoulement faible dans les plaines.

#### V.4.4. Les zones d'alimentation possible :

La spécificité du régime hydrologique, le caractère orageux des précipitations et la morphogéologie des bassins versant qui compose le territoire de la wilaya de Khenchela Permettent des zones limitées pour l'infiltration, se sont généralement les zones situées sur les reliefs montagneux ou les précipitations sont plus importantes et ou les formations perméables permettent des infiltrations importantes a partir de la superposition des cartes thématiques suivantes :

- Carte morphologique.
- Carte de perméabilité.
- Carte pédologique.
- Carte de précipitation.

L'on aboutit a la délimitation des zones potentielles d'infiltration donne les zones d'alimentation et les zones d'accumulation des eaux d'ou les zones possibles d'exploitation.

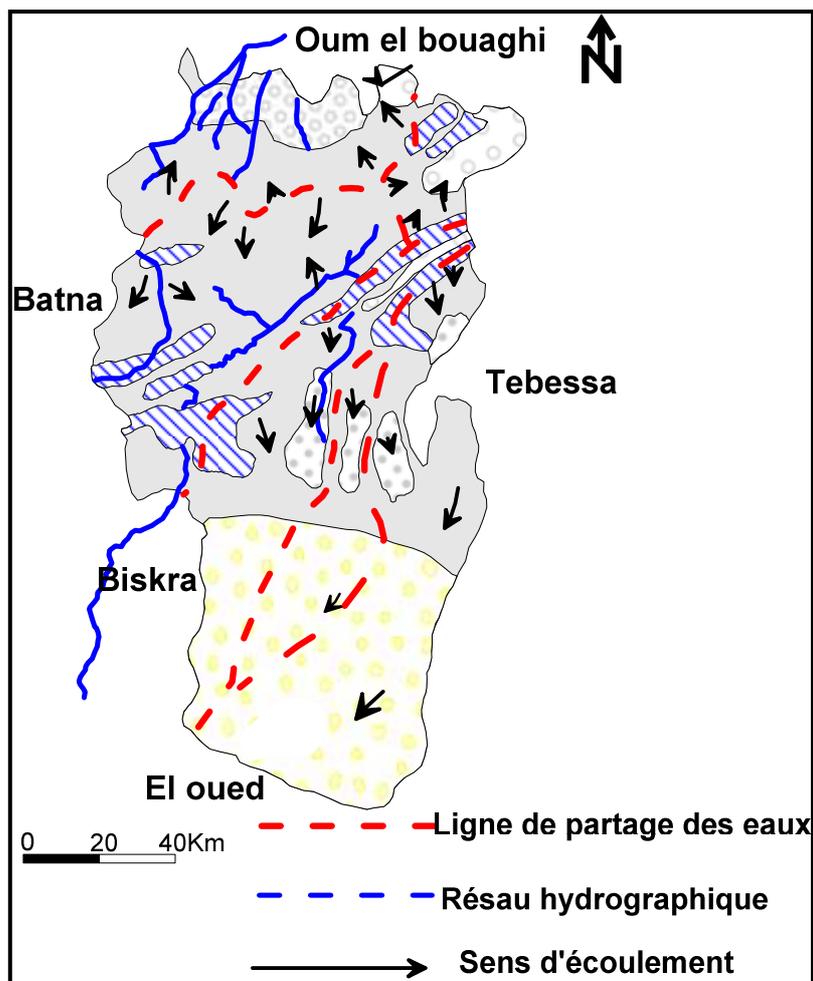


Figure N°28 : Carte synthèse d'écoulements souterrains (Belabed Adnnane et Bousselba Nassar .1998)

V.5. Interprétations des coupes hydrogéologiques :

V.5.1. Coupe hydrogéologique N°01 NW- SE :

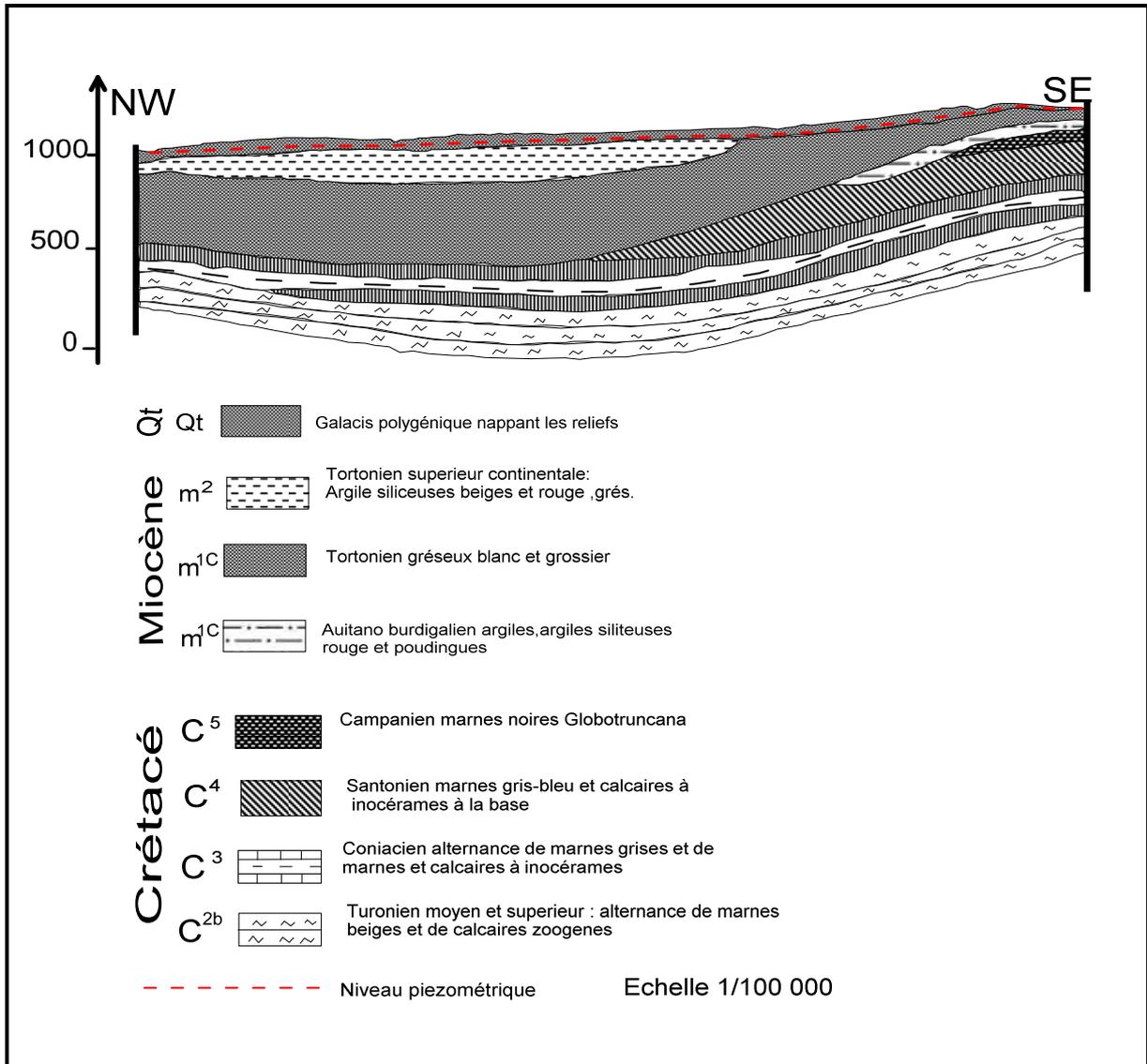
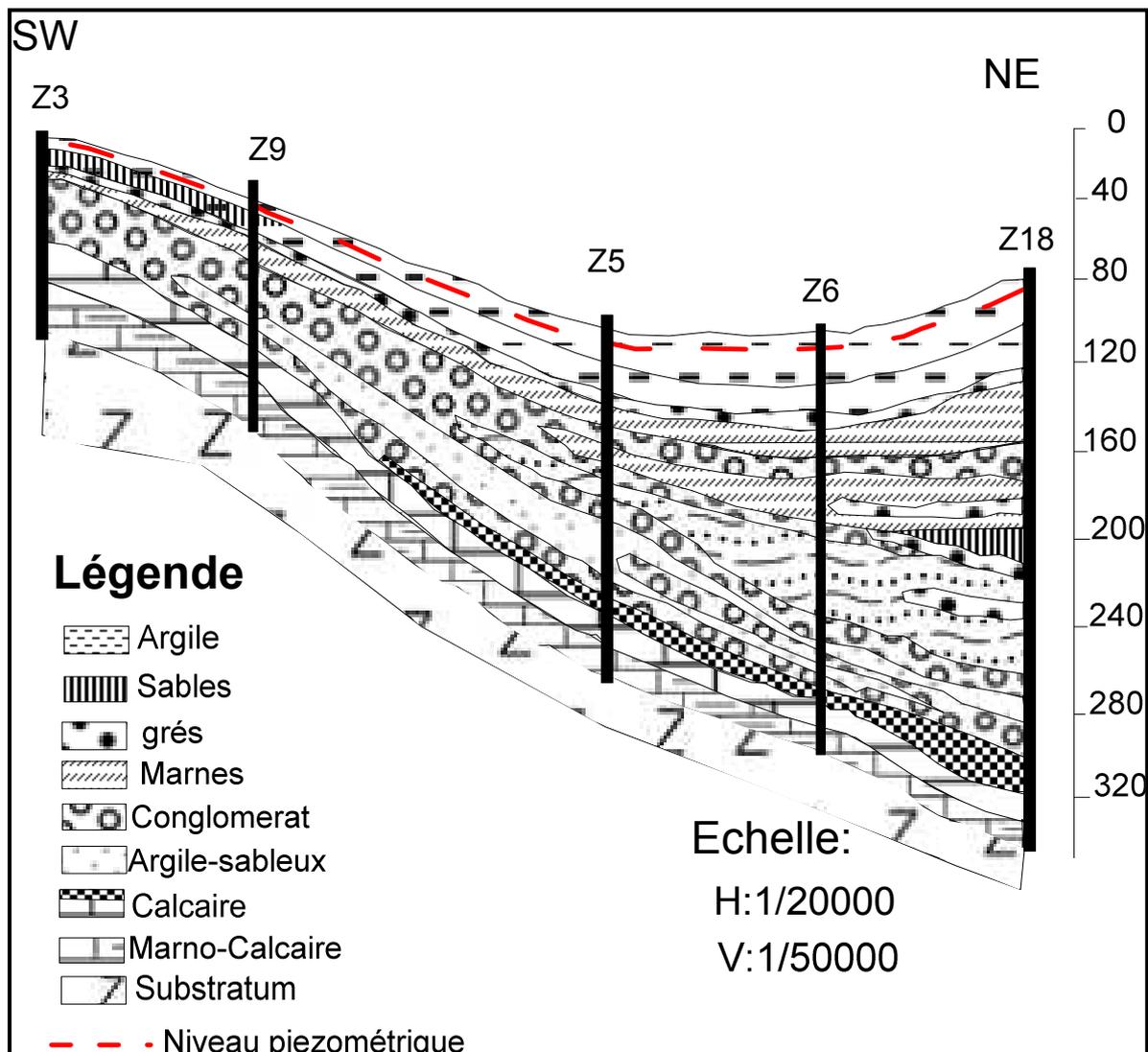


Figure N° 29: Coupe hydrogéologique N°01 (d’après la coupe géologique réalisée par J.M.Vila).

Cette coupe de direction NW-SE est réalisée grâce à la carte géologique de Toufana (J.M.vila 1/50 000) et la carte piézométrique.

La coupe hydrogéologique montre l’aquifère superficielle du moi-Quaternaire qui est constitué par des glacis polygénique du Quaternaire et des Grés blancs grossiers du Totonien supérieur. Cela traduit un aquifère a nappe libre dont le niveau piézométrique est subhorizontale qui s’incline vers le Sud –est (30m au NW et 5m au SE) il s’approche de plus en plus de la surface en s’avançant vers le massif (djebel Islafbor el Arouah).

## V.5.2. Coupe hydrogéologique N° 02 SW-NE :



**Figure N°30 : Coupe hydrogéologique N°02 (source DHW) Khenchela.**

Cette coupe est de direction Sud-ouest Nord-est et basée essentiellement sur les logs stratigraphiques des forages : Z3, Z9, Z5, Z6, Z18 et les données géophysiques effectuées dans la région par C.G.G. 1972 (D'après la D.H.W) Khenchela.

La coupe montre deux formations plus importantes l'une est superficielle à porosité d'interstice et l'autre profonde à porosité de fissures.

La formation se présente par des sables, sable marneux, des graviers, des grès et des conglomérats. Cette formation est perméable formant une nappe libre.

Au Sud-ouest cette formation est d'une épaisseur relativement faible est de l'ordre d'une dizaine de mètres. Au Nord-est l'épaisseur est plus grande.

L'autre formation est constituée par des marnes, calcaires et des marno-calcaires l'épaisseur de cette formation au Sud-ouest est plus importante qu'au Nord-est.

**V.6.Ressources en eau souterraines :****V.6.1.Les potentialités des aquifères de la wilaya :**

Le volume prélevé de ces trois aquifères est de **33.58** Hm<sup>3</sup>/an, avec des débits varient de **2** à **80** l/s.

L'importance de ces trois formations aquifères permis de classer ces aquifères selon leur exploitation comme suit :

**a) Formation du Quaternaire:**

Est la formation la plus importante, grâce à la grande exploitation. Sur 165 forages implantés dans la région, 111 forages exploitent la formation Quaternaire, sachant que ces forages extraient des débits importants qui varient d'un forage à un autre et prend des valeurs comprise entre **2** l/s c'est le cas de la région de Babar et Tamza et **50** l/s dans la région de Babar. Le volume d'eau prélevé a partir de cette formation est de **24,26** Hm<sup>3</sup>/an, soit 72.25%.

**b) Formation du Crétacé :**

La deuxième avec 39 forages du total exploités dans la région sont des forages exploitant la formation Crétacé. Cette formation caractérisée par des débits très importants qui arrivés jusqu'au **80** l/s, Le volume d'eau prélevé à partir de cette formation est de **7.99** Hm<sup>3</sup>/an, soit 23.80%.

**c)Formation du Miocène :**

La troisième formation le nombre total des forages exploitant la formation Miocène est de 15 forages. La formation du Miocène marquée par des débits qui ne dépassent pas largement les **12** l/s. Le volume d'eau prélevé a partir de cette formation est de **1,32** Hm<sup>3</sup>/an, soit 3.95%.

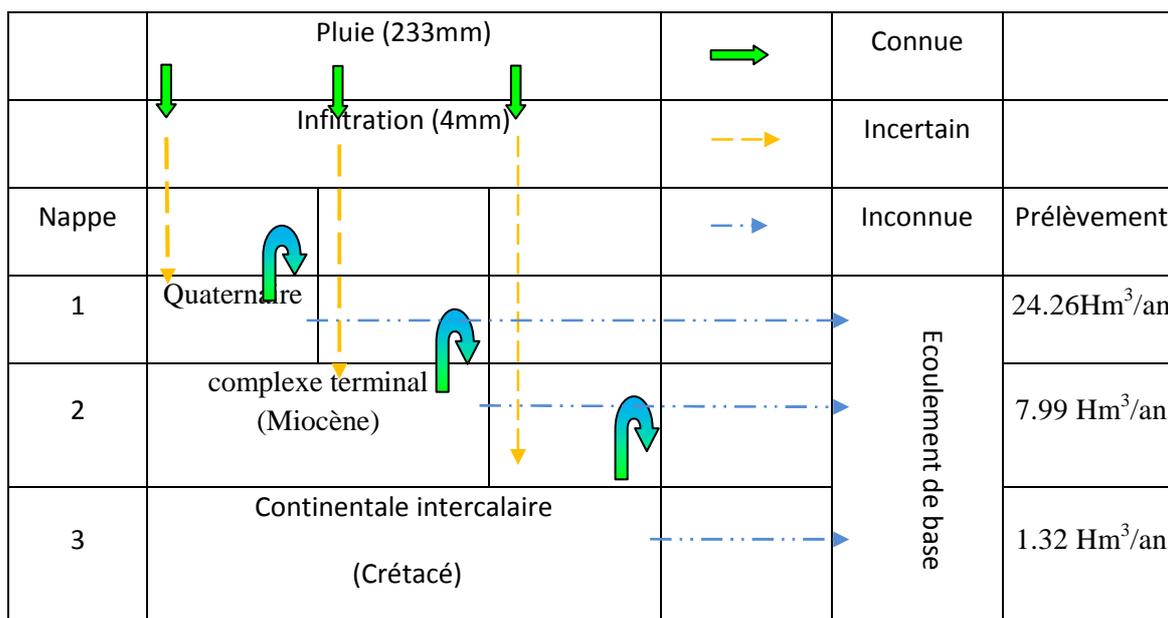
A partir des estimations établies par L'ENHYD, la partie des aquifères (grandes unités Hydrogéologiques) qui composent le territoire de la wilaya est celle de Babar au centre de la wilaya, de Garaet Taref au Nord de Ain Delaa au Nord-Est, les Nementcha au Centre-Sud et le prolongement de la nappe de Negrine a l'Ouest.

Tableau N° 18 : Prélèvements d'eau par nappe (Inventaire ANRH 2008).

Unité stratigraphique	Unité hydrogéologique	Prélèvements (m <sup>3</sup> /an)
Quaternaire	Nappe du Quaternaire	24263667
Moi-Pliocène	Nappe du Complexe Terminal	7994376
Pontien		
Eocène		
Seno-Eocène		
Turonien		
Maastrichtien	Nappe du Continental Intercalaire	1327140
Albo-Barremien		
<b>Total</b>		<b>3358183</b>

La wilaya de Khenchela connu un important développement notamment dans le secteur agricole, ayant nécessité la mobilisation de grandes quantités d'eau des nappes souterraines, qui s'est distinguée par la prolifération de forages d'eau fortement accéléré depuis le milieu des années 1990.

Tableau N°19 : Schéma de fonctionnement du système aquifère.



L'influence et l'impact des activités de pompage sur ce système ne sont pas suffisamment connus pour le moment. Même si on arrivera à une connaissance de ce système, il restera toujours un système difficile à contrôler et donc pas prévisible. Le seul paramètre à planifier est l'exploitation du système, et pas le comportement du système.

**V.6.2.Simulation de la piézométrie dans la nappe Quaternaire par un modèle mathématique (Modflow):**

Lors de l'étude de transfert des eaux souterraines nous voulons appliquer un modèle sur une zone dans la nappe quaternaire la zone limitée par ces cordonnées. Ce modèle utilise beaucoup des données et des variantes: la pluie, la recharge, les conductivités, et d'autres ce qui éprouve son précision. Et la globalité.

**Tableau n° 20: Les limites de la zone de simulation.**

Cordonnées	X	Y
MIN	855	430
MAX	910	255

Cette zone contient la partie la plus important dans le nord de Khenchela et qui contienne le barrage de Foum el Gueiss et oued Gueiss ou daïra de Kais. Gravier, sable, grossiers galets et calcaires, constituent l'essentiel des formations quaternaires. Ces horizons perméables ont des épaisseurs variables entre 40 m et 60 m.



**Figure N° 31: Site de la zone à simuler.**

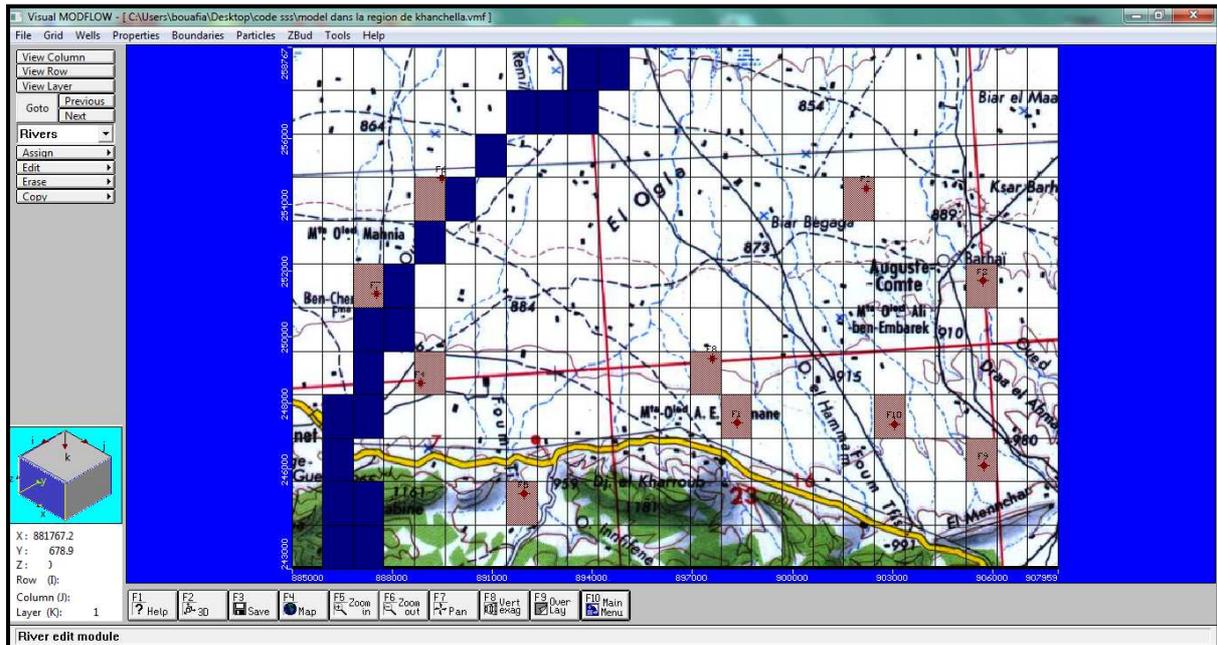


Figure N°32 : Carte Présente Oued Gueiss et les forages choisie dans la zone à simuler.

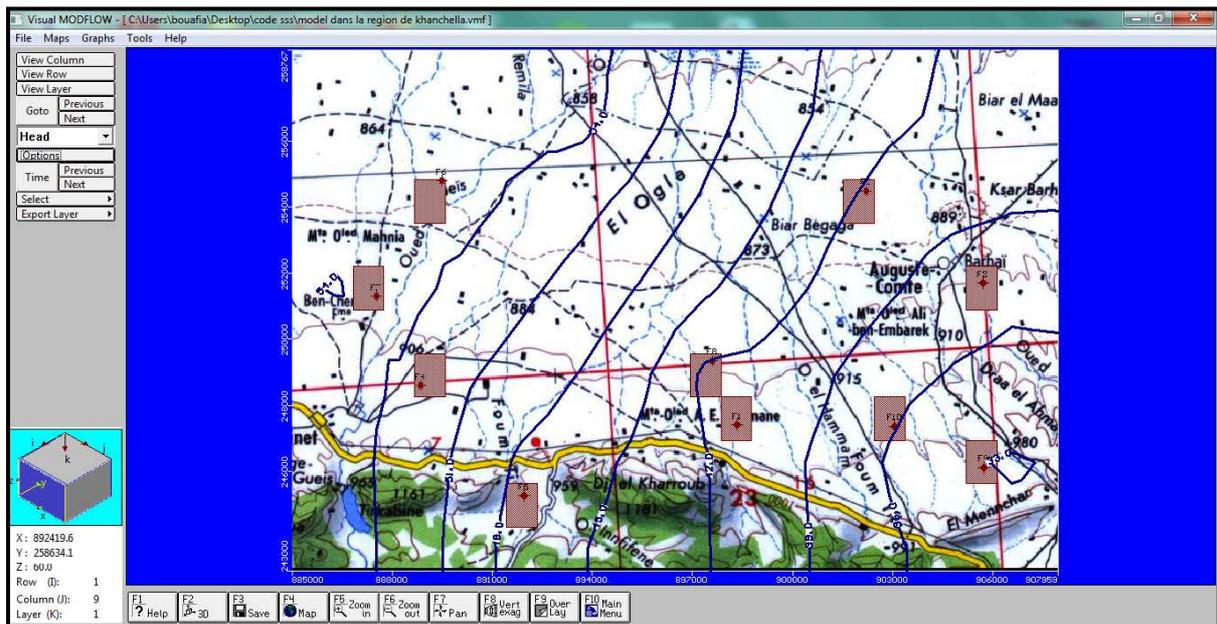


Figure N°33 : Carte présente les courbes piézométriques dans la zone.

On voit que ces courbes sont espacées régulièrement avec une direction de Nord-Est vers l'Oued el Gueiss et ces courbes sont similaires avec celles qu'on a présentée par surfer ce qui confirme que la piézométrie étudiée précédemment et on remarque aussi que cette nappe draine l'Oued de Gueiss.

**V.6.3. Résumé des conséquences de la gestion actuelle sur la situation des eaux souterraines :**

Dans la région étudiée, l'agriculture dépend totalement de la disponibilité d'eau pour l'irrigation, qui provient dans la presque totalité des eaux souterraines.

La consommation en eau dans la région a fortement augmenté à cause d'un développement important des superficies cultivées enregistré durant les années passées.

La croissance des volumes pompés des nappes a induit des rabattements dans les nappes.

Si on suppose un développement futur, semblable à celui des années passées les volumes prélevés et les rabattements vont augmenter d'une façon exponentielle. Ces rabattements mèneront à des conséquences très graves pour l'approvisionnement en eau, soit sur la quantité disponible, qui va diminuer jusqu'à des volumes négligeables, soit sur la qualité, qui peut devenir trop salée pour n'importe quelle sorte d'utilisation.

Le développement décrit ci-dessus, qui représente un scénario catastrophique, inévitable dans le cas d'une gestion de type « laissez -faire », est déjà en cours.

Les systèmes agricoles et hydrogéologiques sont des systèmes extrêmement inertes, ce qui veut dire que même avec des actions conservatoires immédiates, la situation va encore s'aggraver pour une certaine période, avant de commencer à s'améliorer.

Les conclusions décrites montrent clairement la nécessité d'entreprendre des actions immédiates afin d'arriver à une gestion intégrée et durable des ressources en eaux souterraines, et d'éviter des effets « mortels » pour la situation économique et sociale de la région.

**V.7. Conclusion :**

Les grandes unités hydrogéologiques qui composent le territoire de la wilaya de Khenchela sont celle de Babar au Centre de la wilaya de Garret Taref au Nord, Ain Delaa au Nord-Est. les Nemamcha au Centre Sud et le prolongement de la nappe de Negrine à l'Ouest.

L'aquifère principal du Quaternaire qu'est marqué par des éboulis à blocs alluvions récentes, terre arables et glacis polygéniques et croûtes calcaires, admettant à sa base des argiles siliceuses beiges et rouges. L'eau circule au sein de ces unités qui sont caractérisées par une épaisseur varie de 5 à 30 m.

L'aquifère du Crétacé qui est marqué par des formations semi-perméables constituées

essentiellement par des marnes et calcaires crayeux, marnes grises bleu, marno-calcaires et calcaires à écailleuses, l'eau circule dans ces formations cette zone est marqué par un mur formé par des argiles et argiles siliceuses rouges et un toit formé de marne grise et grés bleuté. Cette zone est dans l'épaisseur ne dépasse pas 250 m.

L'aquifère du Miocène, l'eau circule dans les grés blancs grossiers du Turonien inférieur, les marnes biomicrites et biomicroparites et grés blanc du Langhien- serravalien .L'épaisseur de cet aquifère varie de 100 à 200 m.

VI.1.Introduction

Le présent chapitre traite la qualité physico-chimique des eaux souterraines, donc il est nécessaire d'étudier les influences lithologiques sur la minéralisation. Pour cela, on doit analyser une eau, juger de ses qualités et le cas échéant décider des mesures à prendre ou du traitement adéquat à suivre selon l'usage auquel cette eau est destinée.

La comparaison des concentrations en éléments majeurs est indispensable, pour vérifier les hypothèses émises au sujet de certaines réflexions, ayant trait aux phénomènes modificateurs dans les nappes, les faciès géologiques et échange de base, ainsi que les phénomènes liés à la concentration par dissolution et par évaporation, aux échanges hydrauliques entre les différentes nappes et au sens général d'écoulement des eaux d'une part et les zones considérées comme terrains plus au moins perméable.

Enfin, les analyses d'eau permettront de cerner les secteurs les plus pollués et classer les différentes eaux dans la région.

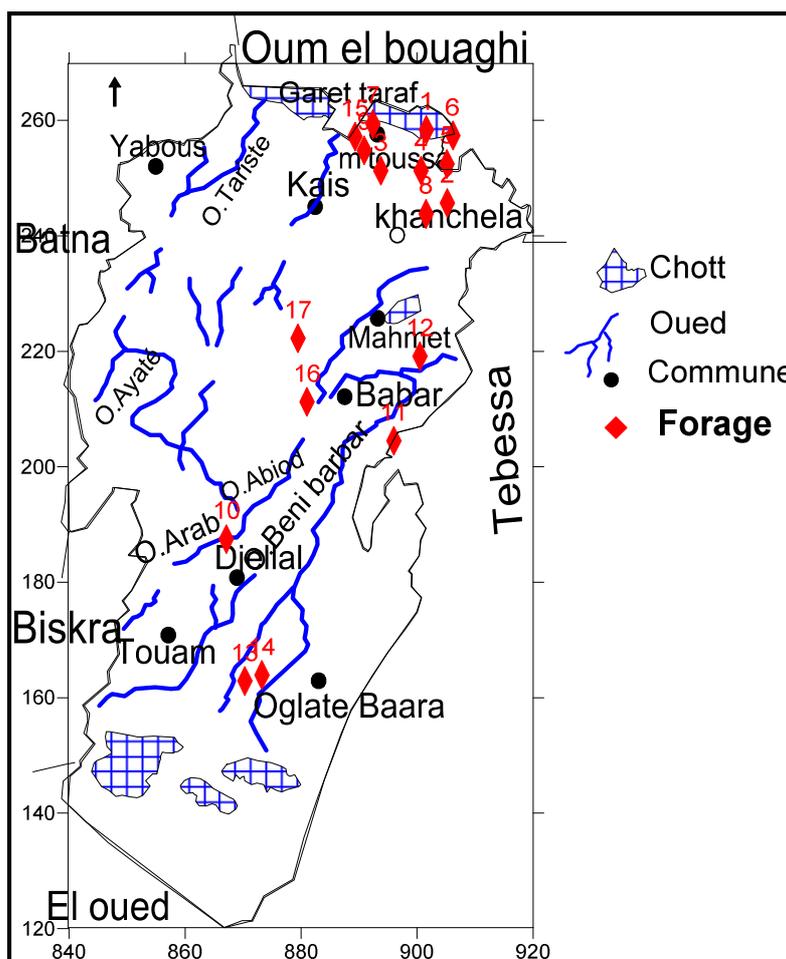


Figure N°34 : Carte d'inventaire des points des prélèvements (DHW 2011).

## VI.2. Evolution chimique des eaux souterraines et interprétation hydrogéologique :

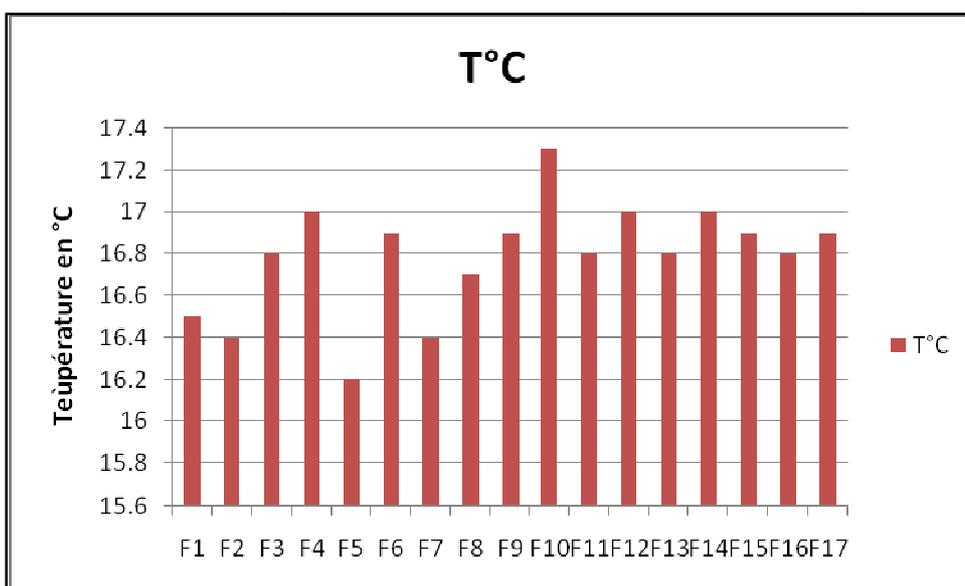
### VI.2.1. Caractéristiques physiques :

#### VI.2.1.1. la température :

La température de l'eau est un paramètre d'une grande utilité en ce qui concerne les études hydrogéologiques.

Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques. La concentration de certains éléments dissous où les rapports des concentrations d'éléments entre eux.

On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, ainsi que son origine géochimiques.



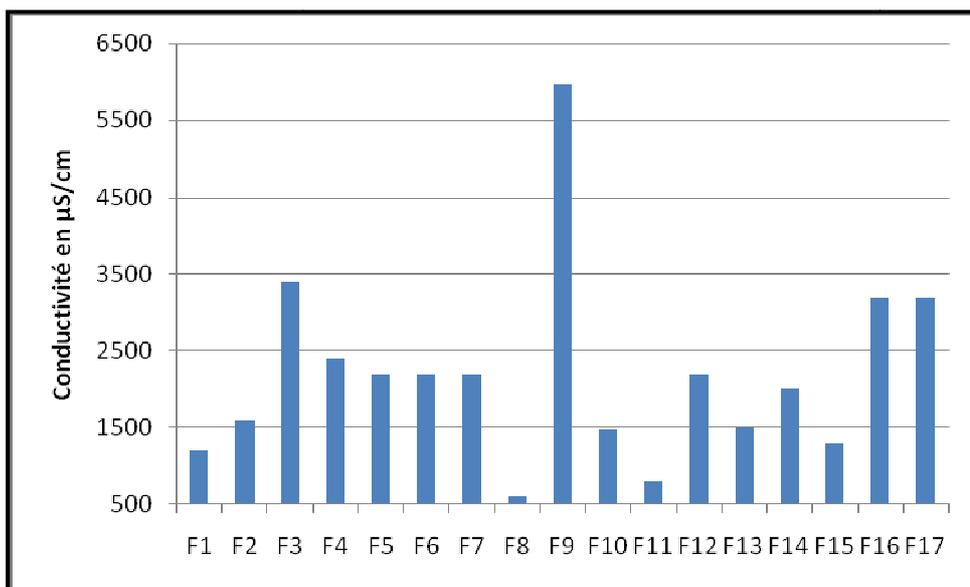
**Figure N°35 : Représentation graphique de la température (DHW 2011).**

De cette figure on remarque que le degré de température ne dépasse pas le degré de 17.5°C dans les eaux souterraines ou atteint son maximum au forage F10 d'une valeur de 17.3°C dans la région de Oued El Arabe et son minimum est enregistré au forage F5 ou région nord (Garat al Taraf) avec une valeur de 16.2°C.

#### VI.2.1.2. la conductivité :

Elle traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique ; c'est une mesure rapide de la teneur globale en électrolytes d'une solution ; c'est un paramètre nécessaire à l'estimation de la minéralisation.

La minéralisation globale (g/l), est approximativement égale au produit de la conductivité électrique à 25°C par un coefficient compris entre 0.55 et 0.75 pour la majorité des eaux souterraines (Freeze et Cherry, 1979).

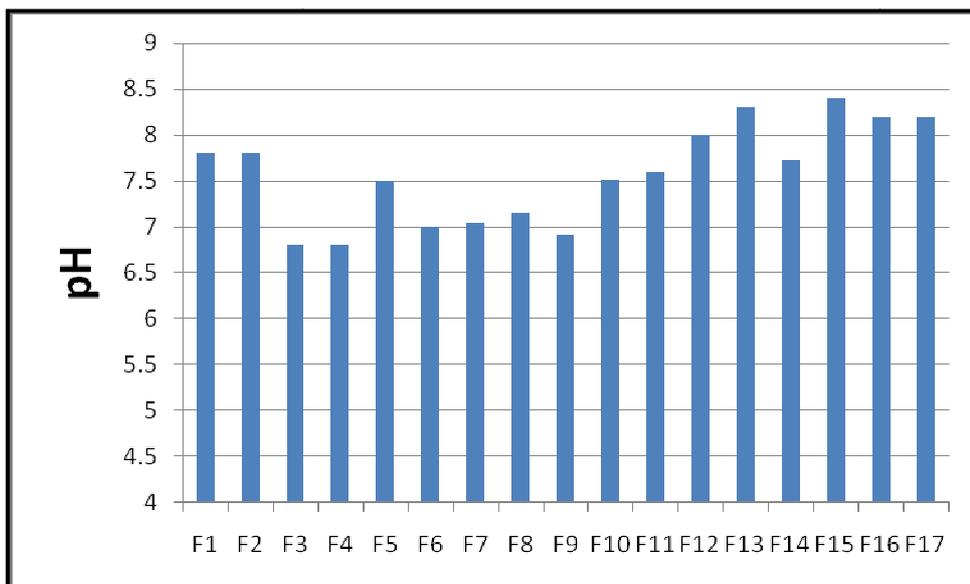


**Figure N°36 : Représentation graphique des mesures à la conductivité (DHW 2011).**

Dans cette figure on voit que la conductivité dépasse les normes de la potabilité dans la majorité des forages de la région nord ainsi que les forages approximative des zones habites on déduire une minéralisation fortes dans ces régions.

**VI.2.1.3.Le pH :**

Il s’agit d’un paramètre capital pour le calcul des équilibres thermodynamiques, il joue un rôle primordial, à la fois, dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité), dans les processus biologiques et dans l’efficacité des traitements des eaux, le pH doit être mesuré le plus souvent et de préférence in- situ.

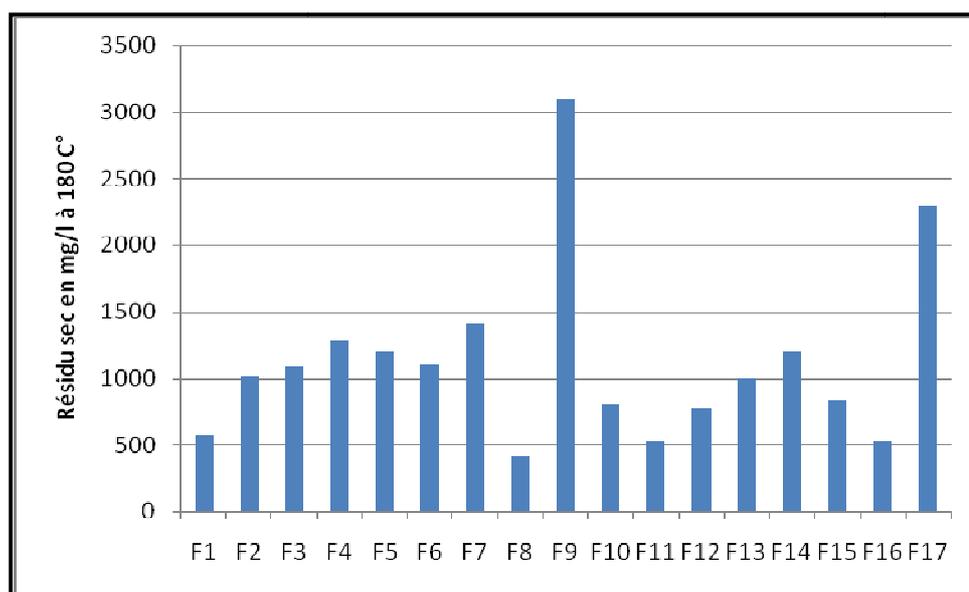


**Figure N°37 : Représentation graphique du pH (DHW 2011).**

Les mesures du pH montrent que tous les points d'eau sont dans l'intervalle de norme de potabilité les valeurs sont comprises entre 6.2 à 8.5 mesures dans des forages destinés à la consommation humaine.

#### VI.2.1.4. le résidu sec :

Le résidu sec est obtenu par dessiccation à 110°C, il correspond à la totalité des sels dissous et donne donc une idée sur le degré de minéralisation des eaux. Le paramètre salinité est le plus fréquemment utilisé pour classer les eaux, notamment au niveau des grands aquifères.



**Figure N°38 : Représentation graphique des teneurs en résidu sec (DHW 2011).**

Les mesures sont à les normes sauf ou forages F9 et F17 dont elles dépassent les normes et atteint une valeur de 3000 mg/l dans les mêmes régions (régions habités) que la conductivité, donc il existe une bonne corrélation entre la conductivité et le résidu sec.

#### VI.2.2. Etude des cations :

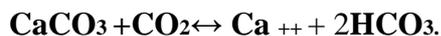
Les résultats des analyses des différents cations et anions sont très importants, ils nous permettent la détermination des faciès chimiques des eaux et de dégager les zonalités regroupant des faciès chimiques.

Au sein de la même nappe, l'eau peut en effet subir les effets de plusieurs phénomènes (nouvelles dissolutions, réduction des sulfates, échange de base, etc..), capable de modifier partiellement et parfois même totalement l'aspect chimique de l'eau. Cependant la mise en solution est certainement l'un des phénomènes les plus importants de la chimie des eaux souterraines, qui se fait par l'attaque des substances liées à la lithologie du terrain par les eaux qui circulent dans la nappe.

VI.2.2.1. Le Calcium:

Le calcium Ca<sup>++</sup>, se trouve en quantité appréciable dans la quasi-totalité des eaux superficielles et souterraines.

Il constitue un élément dominant des eaux potables des hauts plateaux, sa dissolution résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations carbonatées par le gaz carbonique dans l'eau.



On note aussi que le calcium peut provenir également des formations gypsifères (CaSO<sub>4</sub> (H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>) qui sont fortement solubles.

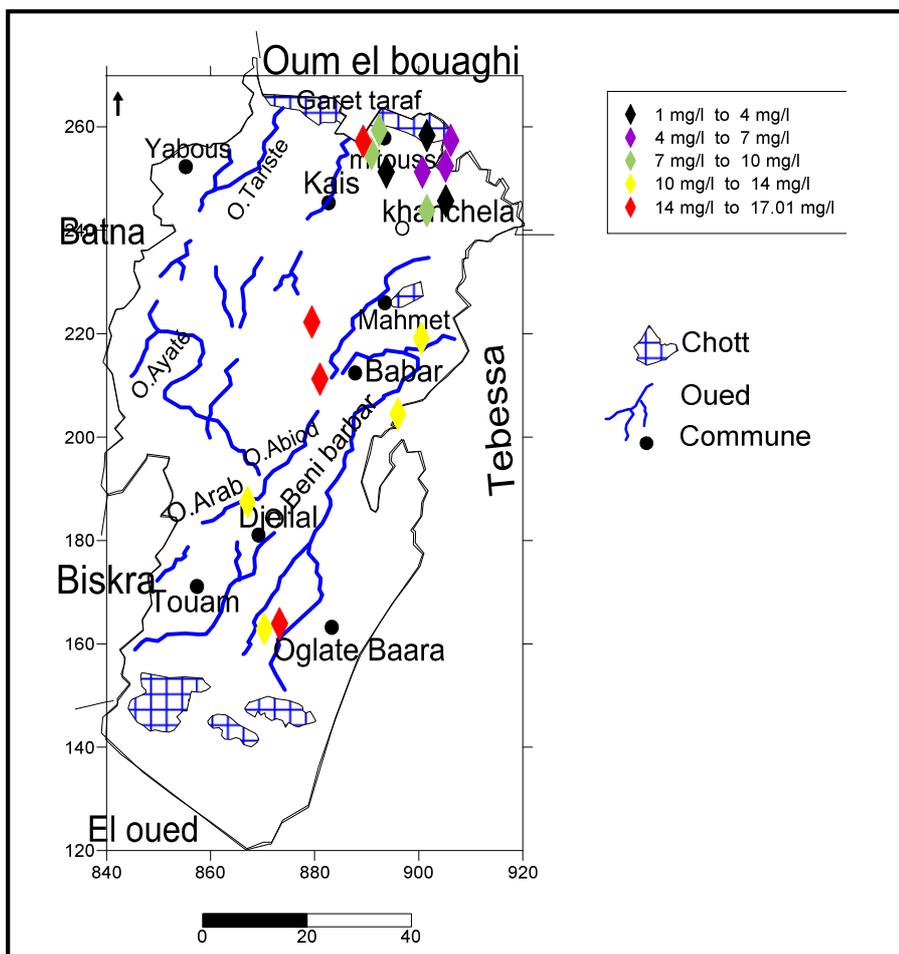


Figure N°39 : Carte des classes du Calcium Ca<sup>2+</sup> (DHW 2011).

La carte des classes en teneur en Ca<sup>++</sup> montre que les teneurs des ions Ca<sup>++</sup> les plus faible sont dans le nord-est et augment vers le Nord et le Sud avec le sens d'écoulement ou la valeur la plus élevée, expliqué par les infiltration des eaux de surface a travers les formations carbonate ainsi que les eaux de chott Garet taraf .

VI.2.2.2. Le Magnésium :

Le magnésium  $Mg^{++}$ , a son origine dans les formations géologiques traversées par l'eau, soit par dissolution des formations dolomitique qui n'est possible que grâce à la présence du gaz carbonique, et aussi de la dissolution de  $MgSO_4$  dans les terrains gypseux.

On note enfin que la mise en solution de  $Mg^{++}$  est très difficile et nécessite beaucoup de temps de contact.

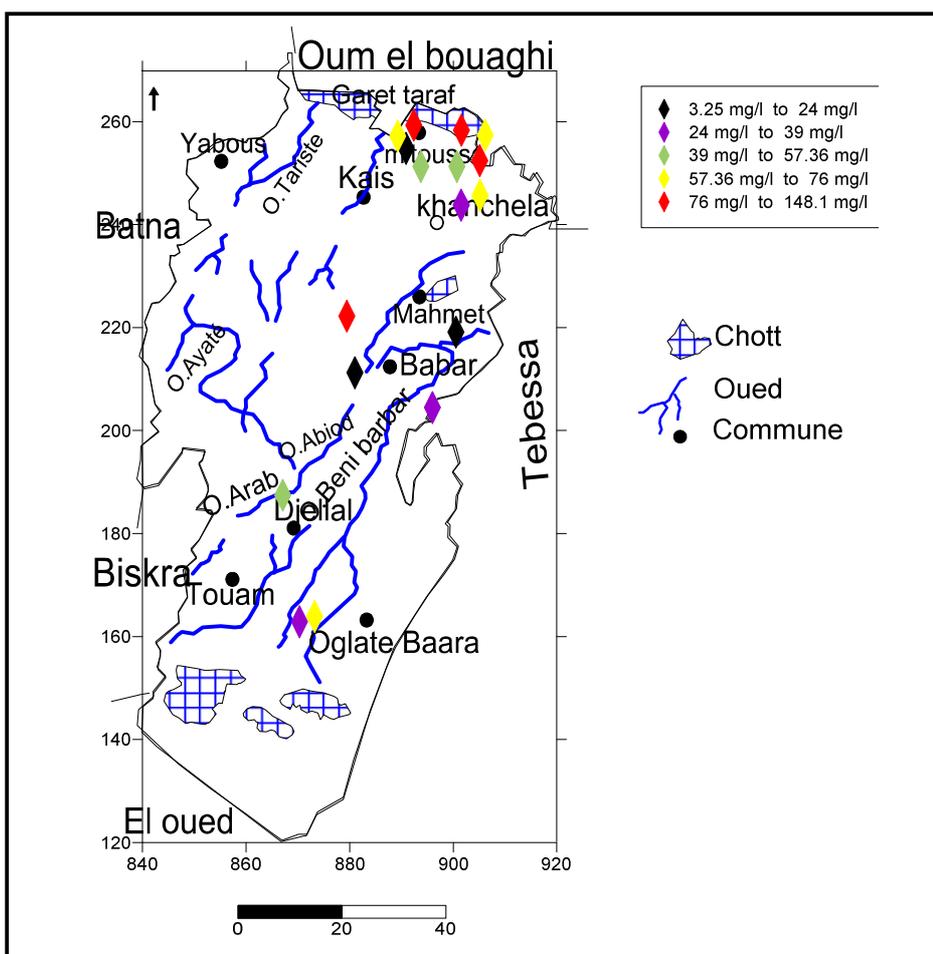


Figure N°40 : Carte des classes du Magnésium  $Mg^{2+}$  (DHW 2011).

La carte des classes en  $Mg^{++}$  montre que les concentrations de  $Mg^{++}$  augmentent avec la direction Nord Est au partie nord et que la partie centrale a des valeurs élève varie entre 40-80 mg/l la où la disposition de la nappe créacé qui est formée par des Calcaire, Marno-Calcaire, Gypse aussi de Calcaire Karstique (des formations carbonatées)

VI.2.2.3. Carte du sodium et de potassium:

Le sodium  $Na^+$  est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, il provient essentiellement de lessivage des formations riches en  $NaCl$ , et il provient aussi des formations salifères (chotts), par pompage intense ou des rejets des eaux usées d'origines domestiques et industrielles.

Le potassium  $K^+$  est beaucoup moins abondant que le sodium et dépassent rarement des teneurs supérieures à 20 mg/l.

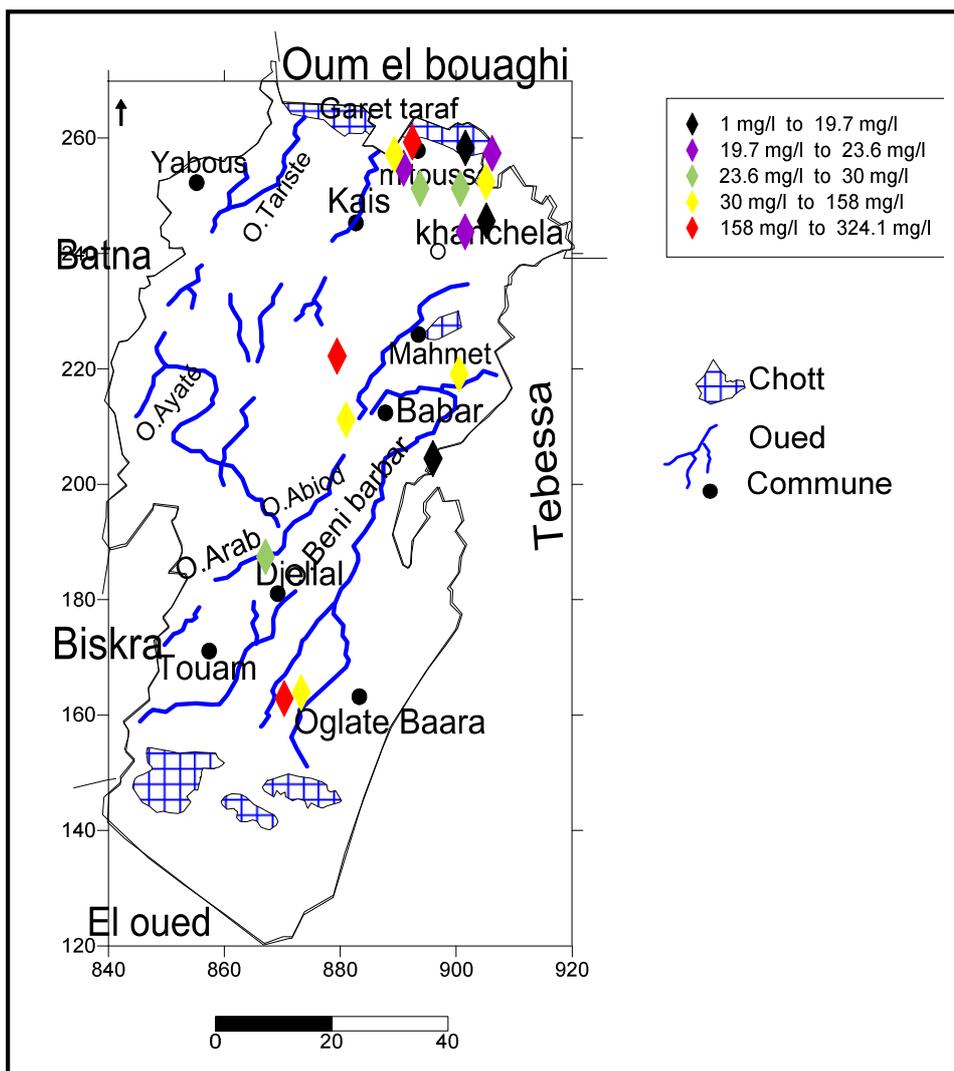


Figure N° 41: Carte des classes du sodium  $Na^+$  et le potassium  $K^+$  (DHW 2011).

La carte des classes en  $(Na^+ + K^+)$ , montre que les valeurs faibles sont vers le Nord Est et augmentent chaque fois que nous dirigeons vers le nord (Garet el Taraf) et vers le Sud où la concentration la plus élevée et de 330 mg/l dans la nappe quaternaire qui est formé de argiles sableuse ainsi en trouve le chott Melrhir.

VI.2.3. Etude des anions :

VI.2.3.1. Carte des chlorures :

L'eau contient presque toujours des chlorures mais, en proportions très variables. La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. Leur origine est diverse, ils proviennent :

- des rejets des eaux usées d'origine domestique.
- des rejets d'origine industrielle telle que l'acide HCl.
- de la dissolution des sels naturels pour lessivage des terrains salifères.

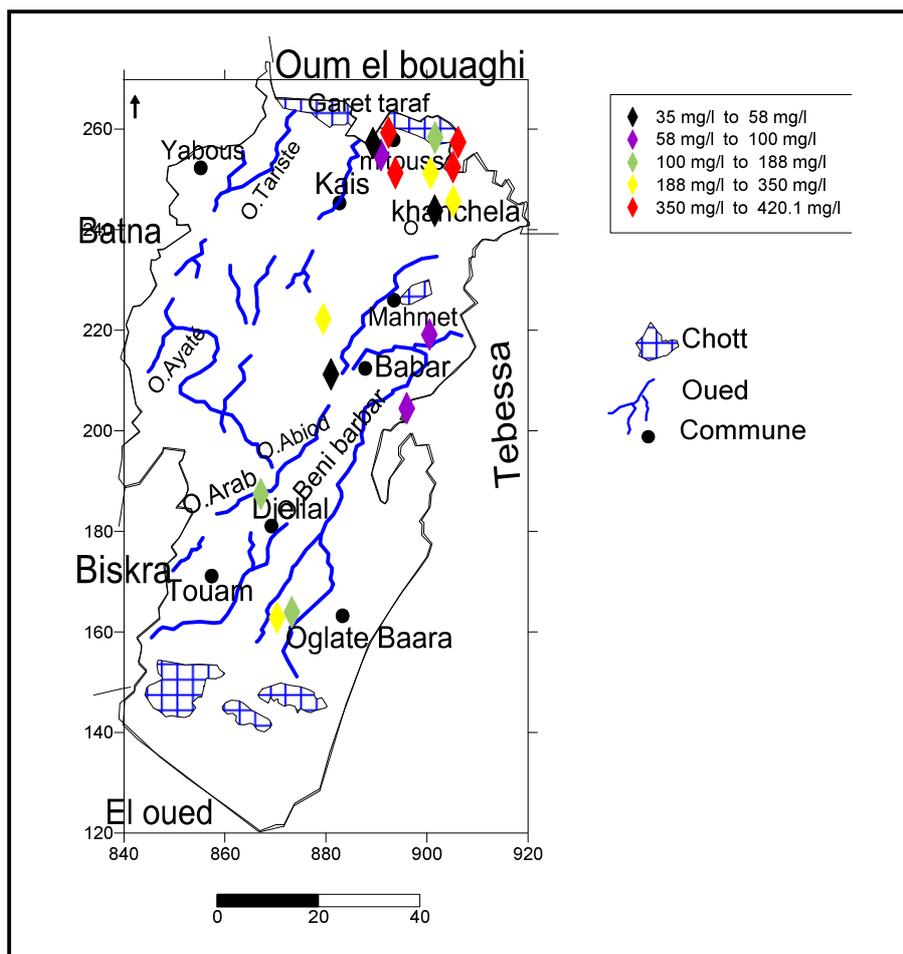


Figure N°42 : Carte des classes du Chlorure Cl<sup>-</sup> (DHW 2011).

La carte des classes en Cl<sup>-</sup>, montre que les concentrations les plus élevées sont dans la partie Nord est vers la ville de Khenchela où regroupées l'agglomération ses rejets d'eaux usées collectées par les oueds et ses affluents sont très riches en chlorures car l'organisme humain élimine la totalité des chlorures ingérés dans l'ensemble de son alimentation, surtout les excréments humaines en particulier l'urine, riche en chlorures et responsable d'un apport d'environ de 0.6 gramme de chlorure par personne et par jour (TARDET-HENRY, 1984).

Dans la partie centrale, on note que les concentrations diminuent lorsqu'on se déplace avec le sens d'écoulement, ceci explique la dégradation du chlore par les bactéries et la température.

En suite dans le Sud on vu que les concentrations augmentent chaque fois qu'on dirige vers chott Melrhir.

**VI.2.3.2. Carte des sulfates:**

La carte des sulfates présente des similitudes avec la carte des chlorures, la présence des sulfates dans l'eau résulte :

- de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses.
- de l'oxydation des sulfates de calcium.
- des eaux usées industriels contenant de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et de lessivage des engrais.
- de l'oxydation du sulfate d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis menés lors des précipitations.

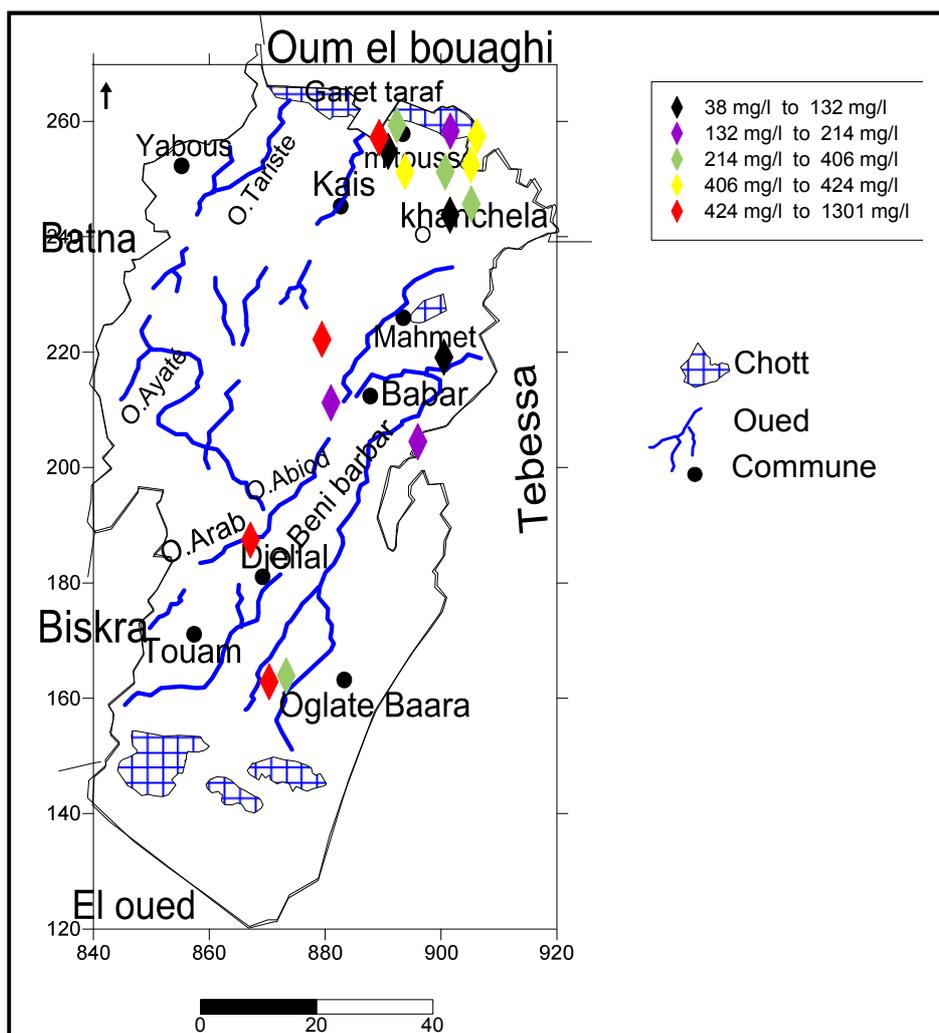


Figure N°43 : Carte des classes du Sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (DHW 2011).

Sur la carte des classes du sulfates  $SO_4^{2-}$  nous observons les fortes concentrations en sulfates, est dans la partie centrale avec des valeurs atteindre 550 mg/l où elles sont caractérisées par l'activité agricole, dont la pollution agricole due aux engrais chimiques est le facteur principal des valeurs élevées de sulfates dans les eaux ainsi que les alluvions contenue des inclusions évaporitiques formé la nappe quaternaire

**VI.2.3.3. Carte des bicarbonates:**

La dissolution des roches carbonatées est l'origine principale des bicarbonates, ces derniers résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique d'après l'équation générale suivante :



Donc la dissolution des roches carbonates dépend de plusieurs paramètres tels que :

- la tension du  $CO_2$  dissous ;
- la température de l'eau ;
- Nature des terrains traversés. - pH de l'eau ;

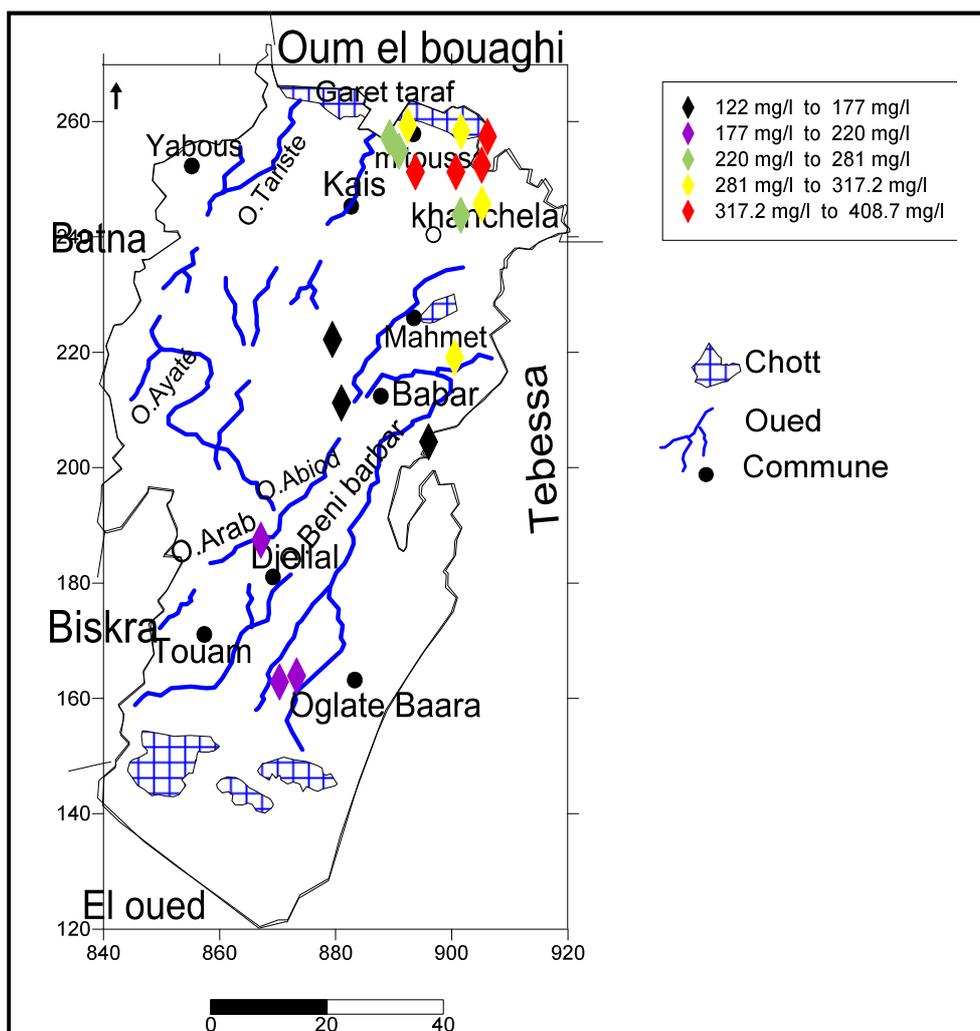


Figure N°44 : Carte des classes du Bicarbonates  $HCO_3^-$  (DHW 2011)

La carte des classes en  $\text{HCO}_3^-$ , montre que les concentrations en bicarbonates varient de 146.4 mg/l jusqu'à 400 mg/l.

Les valeurs de  $\text{HCO}_3^-$  augmentent progressivement vers le Sud vers ou vers le Nord Est. plus précisément vers les chott ou se fasse les dissolutions des roches carbonatées (formations de nappe Quaternaire).

### **VI.3. Etude des valeurs relatives :**

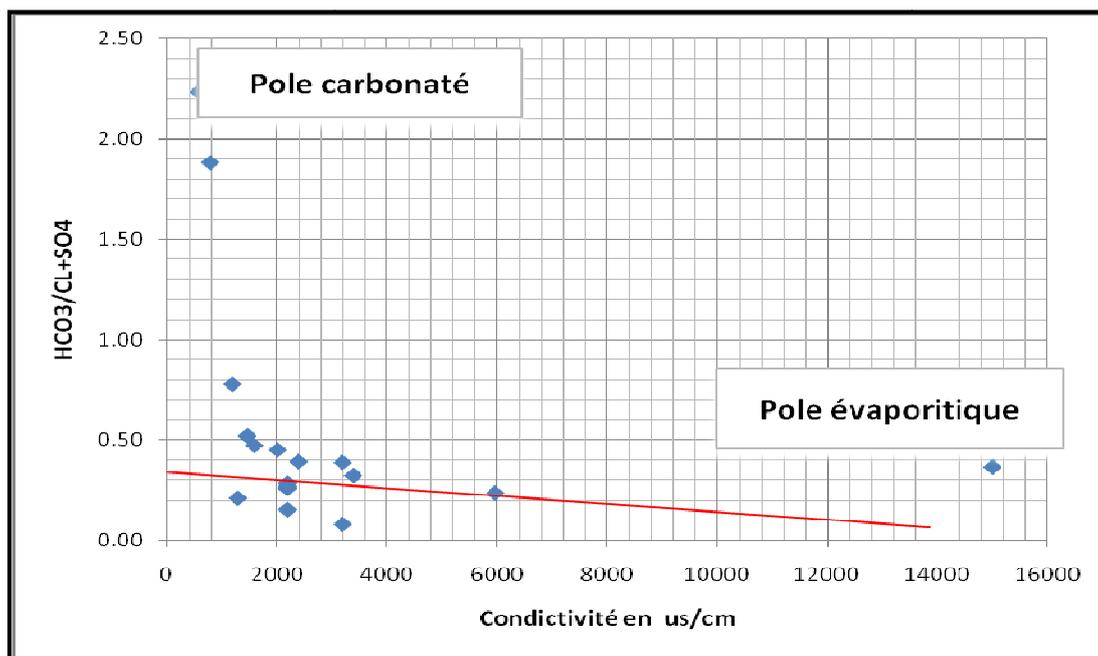
#### **VI.3.1. Minéralisation et caractérisation des faciès chimiques des eaux:**

L'analyse chimique effectuée (DHW 2011) sur les eaux prélevées de 17 points d'eaux dans la zone montre des valeurs très élevées de la conductivité électrique (600-15000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et du résidu sec (408-2293 mg/l). Ces paramètres augmentent généralement vers Nord et vers le Sud notamment dans la région de Garet el taraf autour et du Chott Melrhir.

L'examen de la relation  $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$  permet d'observer les facteurs qui influence la variation de la conductivité des eaux.

Nous constatons ainsi une diminution logarithmique du rapport en fonction de la conductivité électrique, deux pôles sont observés :

- L'un est caractérisé par une dominance des ions  $\text{HCO}_3^-$  et des conductivités inférieures à 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , il englobe 40% des points d'eau localisés au Nord et au Nord-Est de la wilaya près des terrains de bordure crétacés et dans la région de Baghai et m'toussa, ou la nappe est sollicitée par les captages, situés surtout dans les terrains des calcaires vacuolaires du Miocène.
- L'autre représente le pôle évaporitiques avec une dominance des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ce pôle apparaît pour les fortes conductivités ( $>2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) et rassemble plus de 60% des points d'eaux. Ces eaux localisées dans la région centrale et à sud vers chott Melrhir.



**Figure N°45: L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques.**

Trois groupes d'éléments chimiques présentent des teneurs dominantes en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , suivis par  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et enfin  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ . La richesse des eaux en éléments  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  est liée à la dissolution des formations évaporitiques (surtout le gypse).

Par contre les bicarbonates sont dus à la dissolution des formations carbonatées du Crétacé inférieur et du Miocène et les éléments  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  peuvent avoir deux origines : les formations gypseuses (évaporitiques) et les formations carbonatées.

### VI.3.2-Classification des eaux :

Il existe différentes catégories de classification définissant la composition chimique et le faciès chimique.

Classification de Piper.

Classification de Schoeller-Berkaloff.

Après classification des analyses sur le diagramme de Piper et de Schoeller-Berkaloff, deux faciès chimiques dominants sont observés :

- L'un chloruré calcique avec un pourcentage de 43.88% remarquable au centre de la plaine (à l'Ouest et dans les zones centrale) dans la région d' Bouhamma et Kheirane, la conductivité est généralement inférieure à 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Et l'autre chloruré bicarbonaté calcique et magnésienne avec un pourcentage 36.31% apparaît surtout près des reliefs crétacés au Nord de Khenchela suggérant une alimentation de la nappe par des eaux provenant des terrains carbonatés du Crétacé inférieur.

Ce même faciès caractérise également les eaux captées par les forages profonds réalisés dans les horsts à l'Est de Djelal et Chahar, où l'aquifère carbonaté est accessible à de faibles profondeurs.

Et l'autre chloruré sodique avec un pourcentage de 15.38% qui caractérise généralement des eaux salées dans le Nord et Sud, dans la région Baghai et Oglat Baara avec une conductivité supérieur à 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

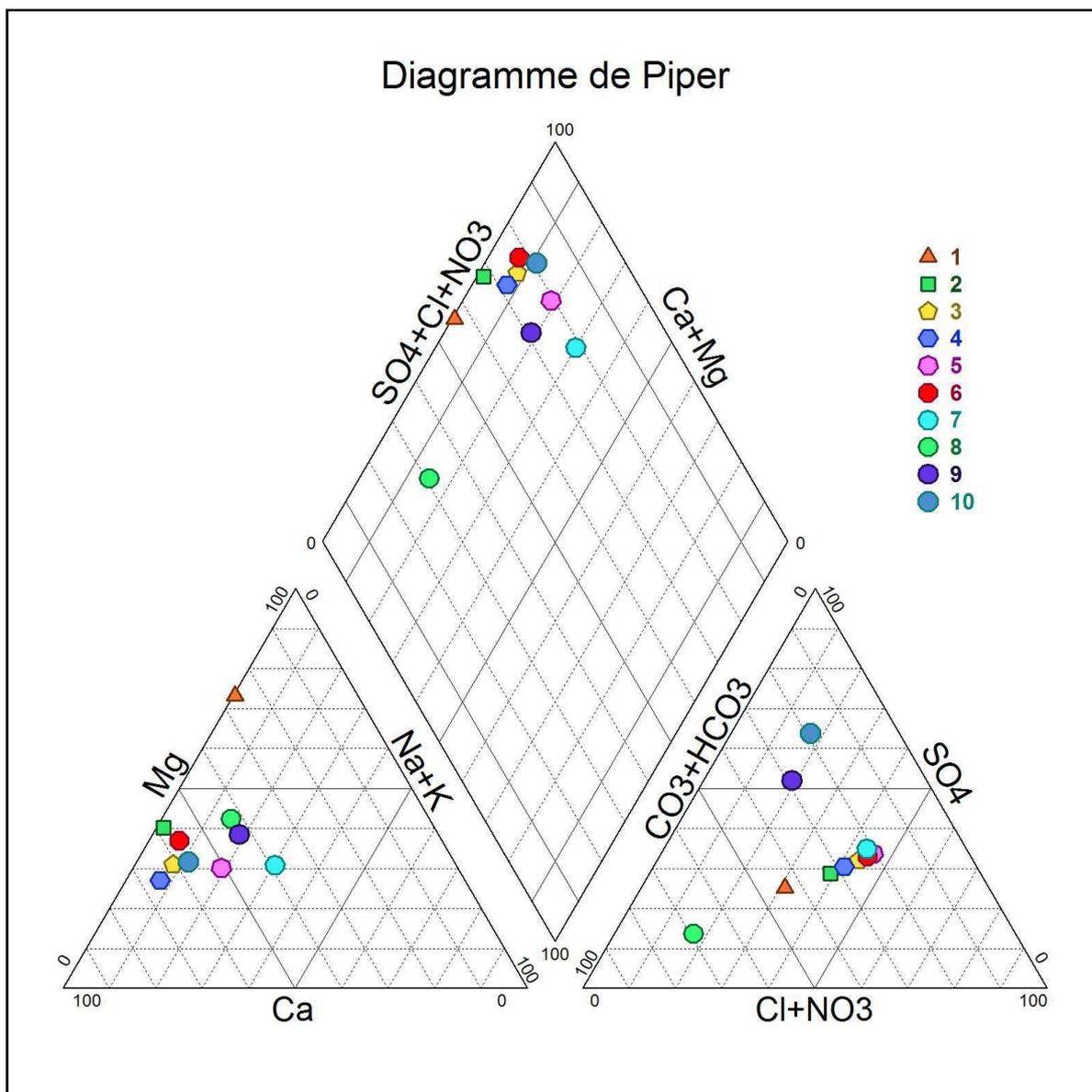


Figure N°46 : Diagramme de Piper des eaux souterraines prélevées dans la région de Khenchela (DHW 2011).

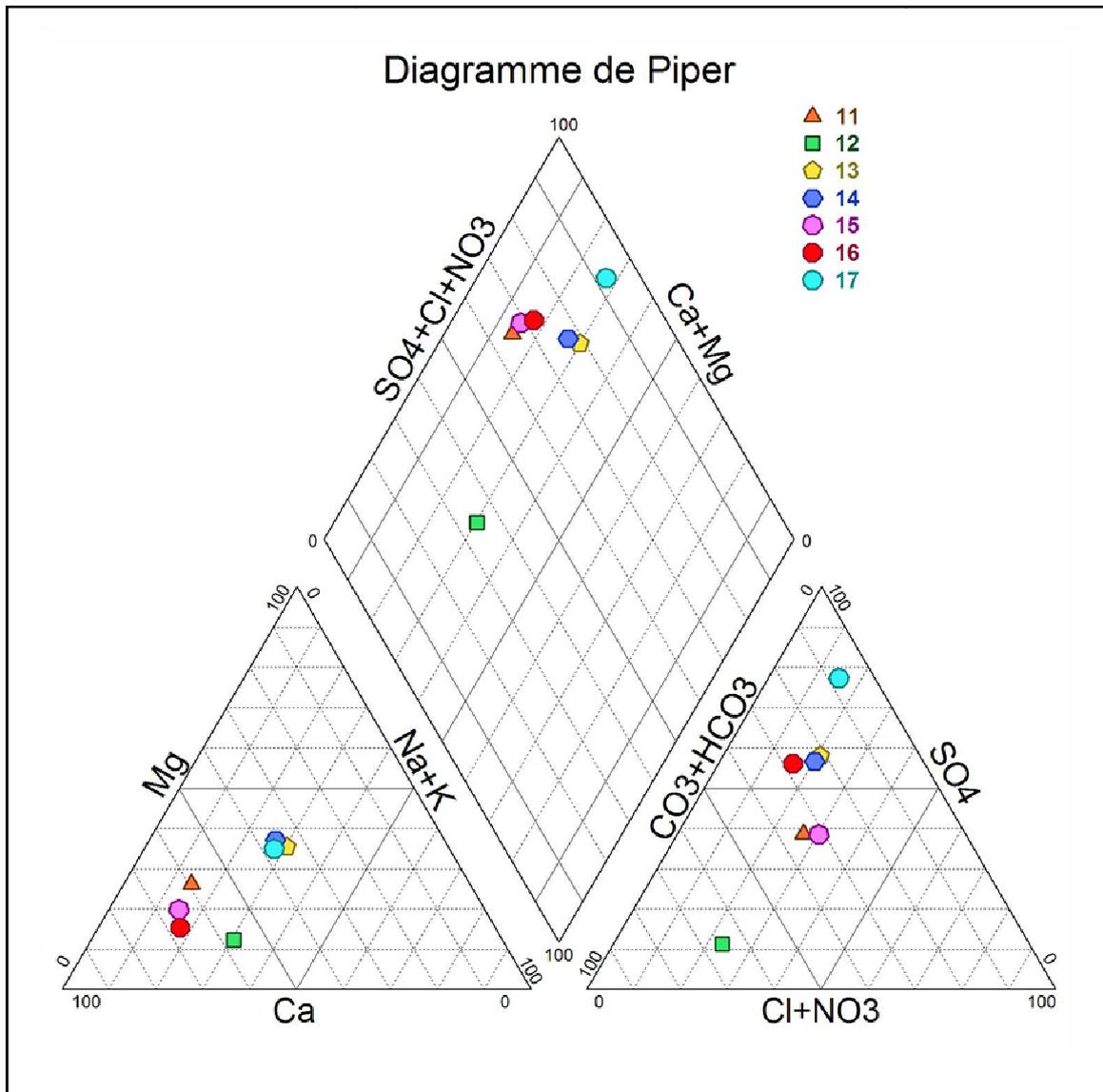


Figure N°47 : Diagramme de Piper des eaux souterraines prélevées dans la région de Khenchela (DHW 2011).

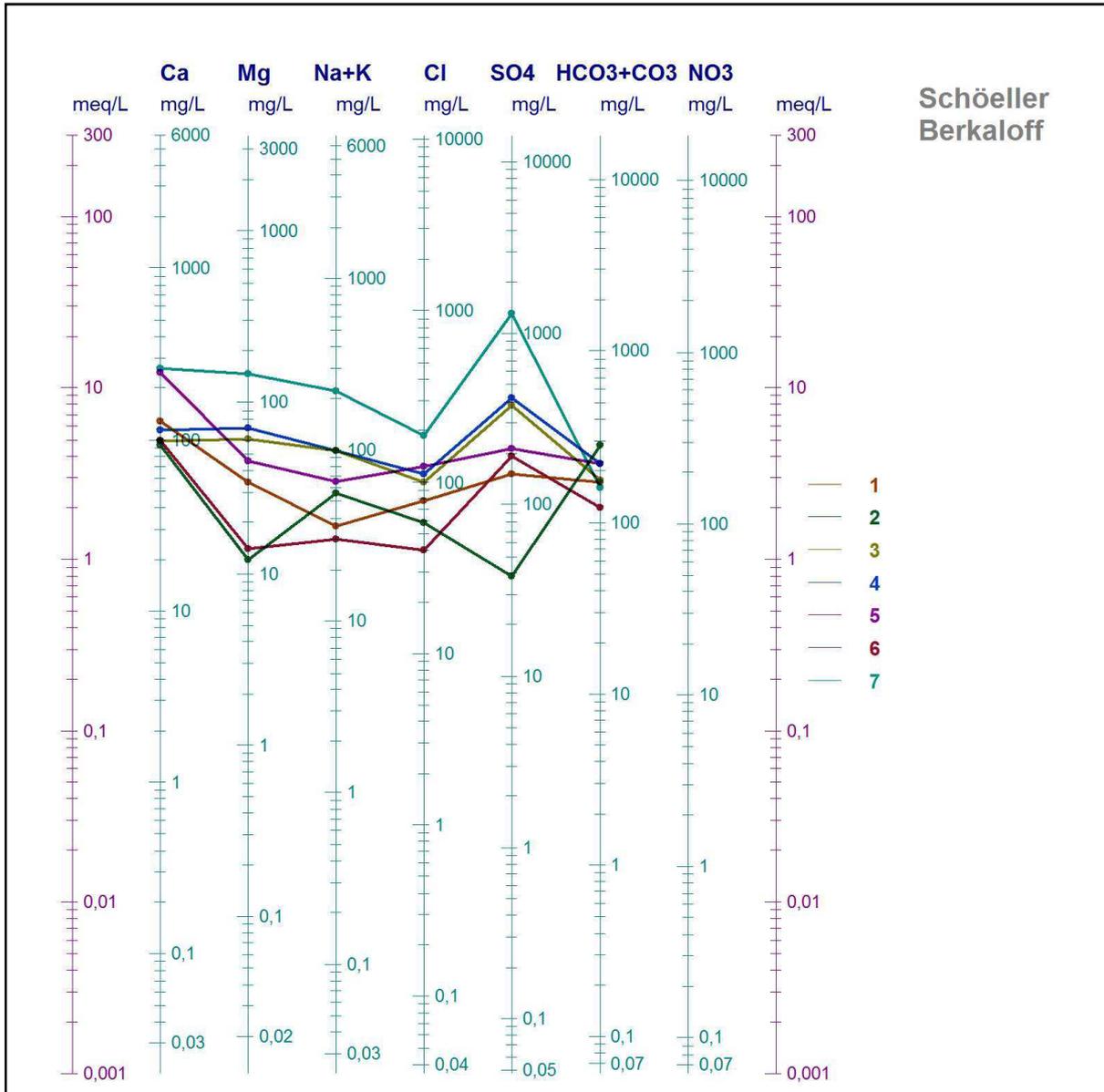


Figure N°48: Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux souterraines prélevées dans la région de Khenchela (DHW 2011).

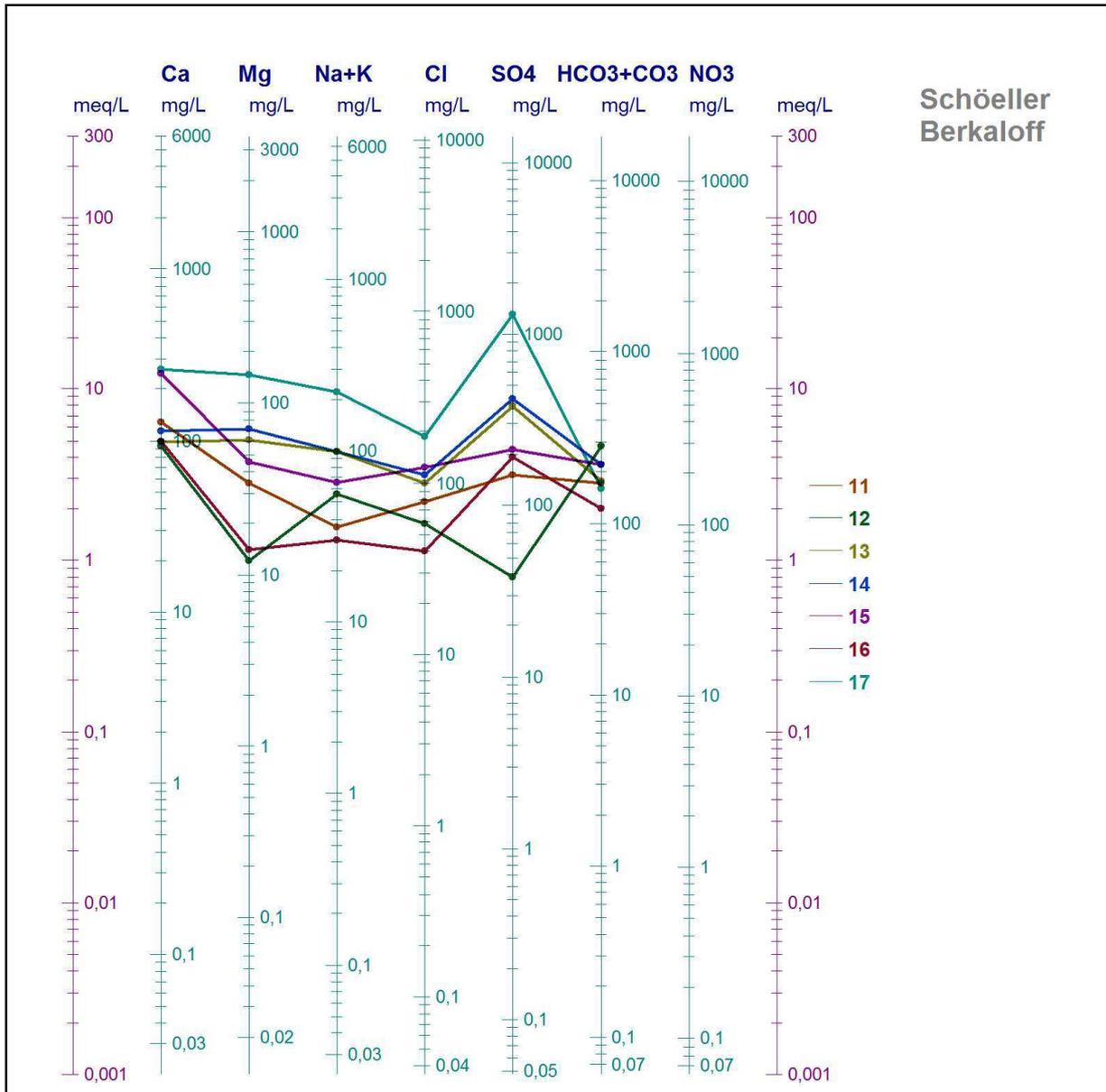


Figure N°49 : Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux souterraines prélevées dans la région de Khenchela (DHW 2011).

Vu la prédominance des ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) dans l'eau de la nappe on a réalisé une représentation des faciès chimiques dans un diagramme bilogarithmique ( $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ ). Ce diagramme montre l'existence de six pôles caractéristiques de faciès chimique des eaux de la nappe.

Entre les deux pôles extrêmes représentés par le faciès chloruré bicarbonaté - sodique et chloruré bicarbonaté- calcique s'observe un passage progressif du faciès bicarbonaté sodique au bicarbonaté calcique et chloruré calcique.  $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+} \rightarrow 2\text{Na}^+$ .

La tendance vers le pôle chloruré calcique est plus marquée, exprimant un échange de base entre les ions de calcium et les ions de sodium plus actif.

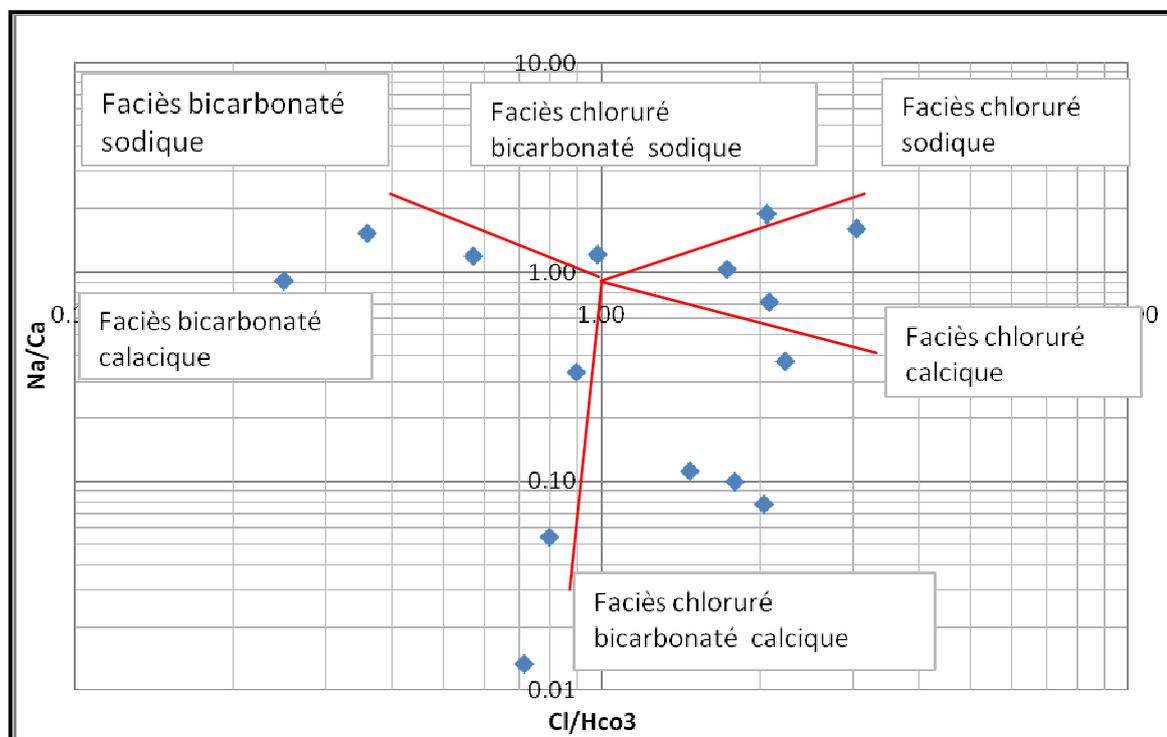


Figure N°50: Diagramme sur la répartition des faciès chimiques par l'utilisation du rapport ( $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ) et ( $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ ).

#### VI.4. Origine des éléments chimiques :

On peut déterminer l'origine des éléments à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux. Les calculs des régressions effectués utilisent les données des analyses chimiques de 17 point d'eau. Deux relations principales ont été examinées.

##### VI.4.1. Le couple (Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>) :

La présence de ces deux éléments chimiques dans les eaux naturelles est liée à la dissolution de l'halite (NaCl) selon l'équation suivante :  $\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$   $\log k = 1.58$  (Helegson 1969).

L'évolution de Na<sup>+</sup> est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et il est peu influence par l'intervention des bactéries.

En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau. La représentation graphique de l'évolution des teneurs en sodium en fonction des concentrations en chlorures sur une échelle logarithmique, montre la répartition des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> avec un coefficient de corrélation de 0.48 indiquant que la moitié des points sont à l'origine du faciès chloruré sodique.

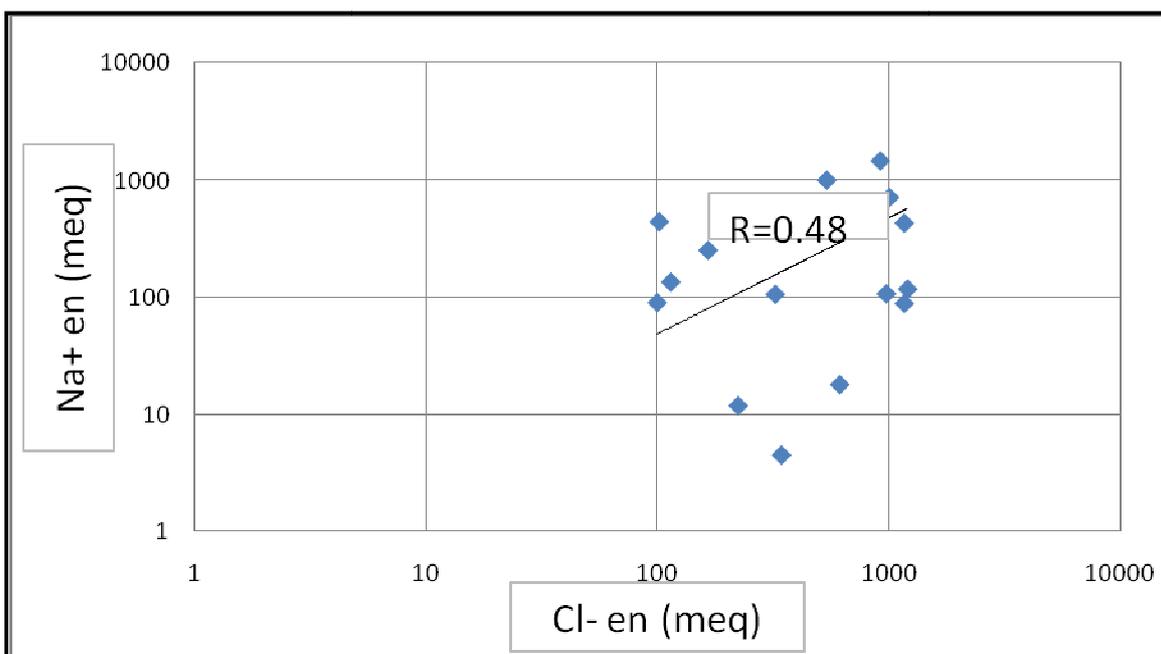
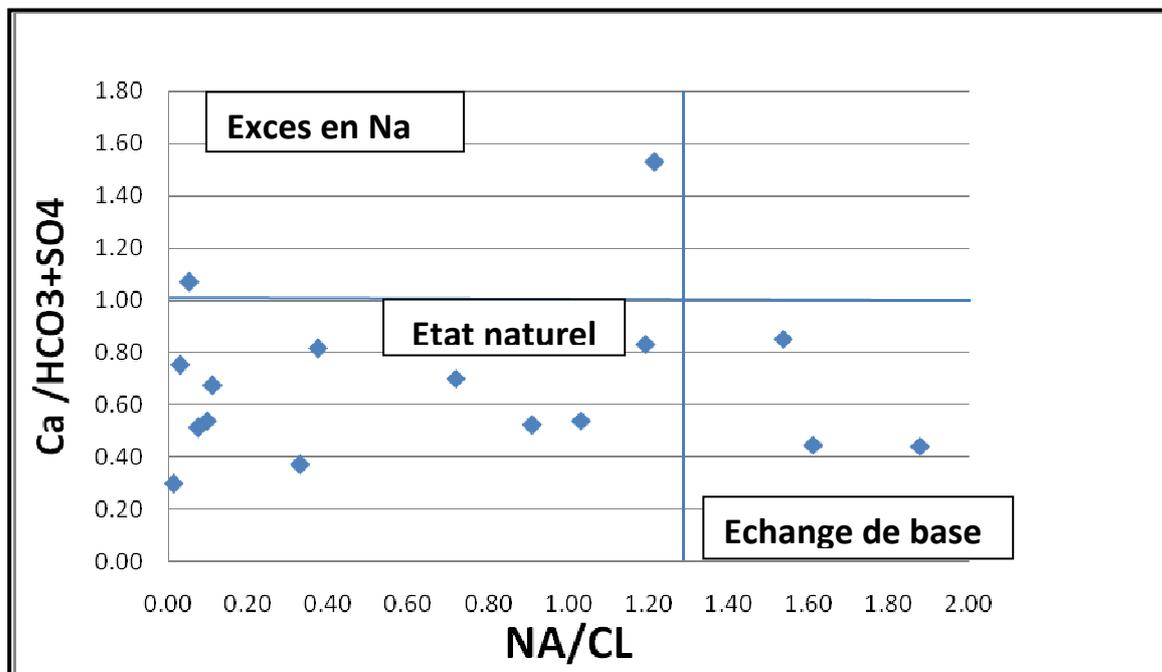


Figure N°51 : Courbe de Corrélation des ions Na<sup>+</sup> avec les ions Cl<sup>-</sup>.

La projection des différents points sur le diagramme de  $Ca^{+2}/(HCO_3^-+SO_4^{2-})$ ,  $Na^+/Cl^-$  montre que la plupart des points d'eaux se représentent à l'état naturel et on trouve des points montre un excès en calcium par apport aux bicarbonates et aux sulfates et nattant que certains des points subissent un échange de base.



**Figure N°52 : Les différents états des éléments chimiques dans l'eau.**

L'origine de la salinité des eaux et la prédominance des éléments  $Na^+$  et  $Cl^-$  et du faciès chloruré sodique peuvent s'expliquer selon deux possibilités :

- Soit par le lessivage du Trias affleurant dans la partie nord et la remontée par capillarité des eaux riches en éléments évaporitiques circulant au contact du Trias.
- Soit par la dissolution du gypse salifère qui se présente à l'état diffus dans les terrains marneux et calcaires lacustres du Mio-Pliocène.

Cette observation est nettement argumentée dans la partie Sud vers chott Melrhir, où ces terrains affleurent sur de grandes étendues. dont les valeurs élevées sont signalées au NE, qui sont liées à la présence des eaux usées dans des oueds.

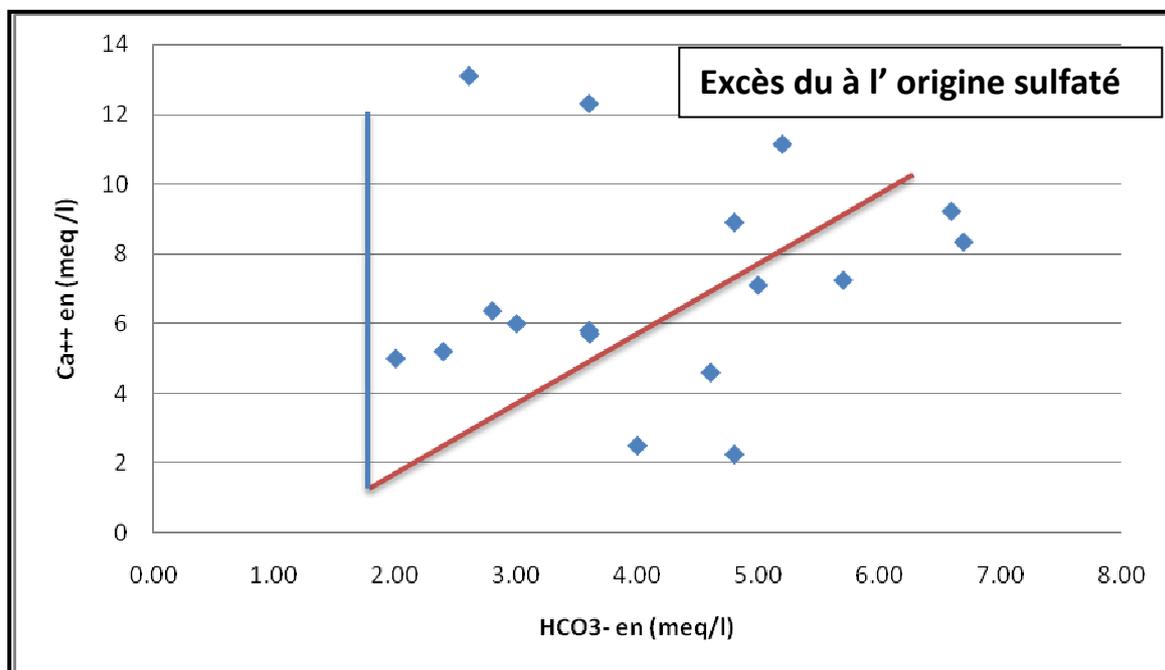
Notons aussi, le pouvoir d'oxydo-réduction entre les alcalinoterreux et les alcalins (due à la présence des marnes et les argiles dans les terrains traversés au centre), qui ont une tendance à libérer  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  et capter les  $Na^+$  et  $K^+$ .

#### VI.4.2. Les éléments $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ :

On a examiné l'origine du calcium en fonction de deux éléments chimiques (bicarbonates et sulfates) qui indiquent l'origine principale (soit des calcaires soit du gypse).

La représentation graphique de l'évolution du calcium en fonction des bicarbonates montre un ensemble l'origine sulfaté des ions de calcium par la dissolution des formations carbonatées d'âge crétacé qui affleurent sur les reliefs.

Par contre les autres points présentent un excès en teneurs de  $\text{Ca}^{2+}$ , interprété comme le résultat de la mise en solution du gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou du  $\text{CaCO}_3$  (calcaires) .



**Figure N°53 : Représentation graphique des ions de calcium en fonction des ions de bicarbonate pour déterminer l'origine du calcium.**

Pour déterminer l'évolution du calcium en fonction de ces éléments une représentation graphique des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction de  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ .

Cette dernière fait apparaître deux évolutions :

- Un excès exponentiel en  $\text{Ca}^{2+}$  indiquant l'origine évaporitique de  $\text{Ca}^{2+}$ .
- Une évolution linéaire interprétée comme le résultat de la dissolution des formations carbonatées.

Ces deux représentations montrent que la dissolution des ions de calcium à partir des évaporites est plus importante que celle qui se fait à partir des carbonates.

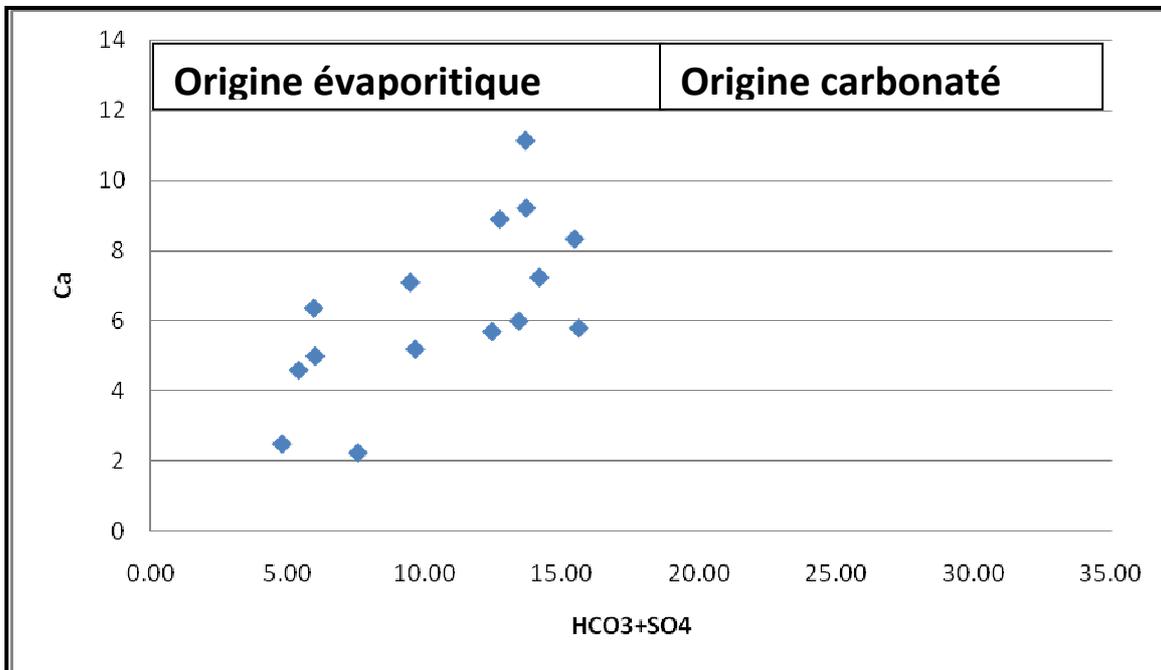


Figure N°54: Les différentes origines de calcium.

**VI.5. Potabilité des eaux :**

Les eaux souterraine ne sont pas chimiquement pures .elles contiennent souvent une certaine quantité de sels dissous qui leur confèrent une certaine saveur, odeur et couleur nécessaire et acceptable jusqu'à un seuil de potabilité établi selon les normes.

La comparaison des données des analyses chimiques des eaux avec celles des normes des l'O.M.S fait ressortir quatre types d'eau de qualité différente :

- Eau de bonne qualité.
- Eau de qualité moyenne à bonne.
- Eau de qualité moyenne.
- Eau de mauvaise qualité.

**VI.5.1.Détermination de la qualité d'eau pour l'irrigation :**

Pour mieux connaître l'aptitude des eaux à l'irrigation, on a calculé la quantité de sodium adsorbé (SAR) par l'équation suivante :

$$SAR = Na / (Mg^{++} + Ca^{++})^{1/2}.$$

Les concentrations de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> sont exprimées en meq/l. Le SAR de chaque point d'eau est reporté sur le diagramme de Wilcox en fonction de sa conductivité électrique. Ce diagramme montre que la majorité des points d'eau présente une salinité élevée.

On observe que la majorité des eaux se situent dans la classe C3-S1, qui définit une eau de salinité élevée (C3) qui ne convient pas à l'irrigation en conditions ordinaires. Ces eaux ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation des sols perméables avec un bon drainage.

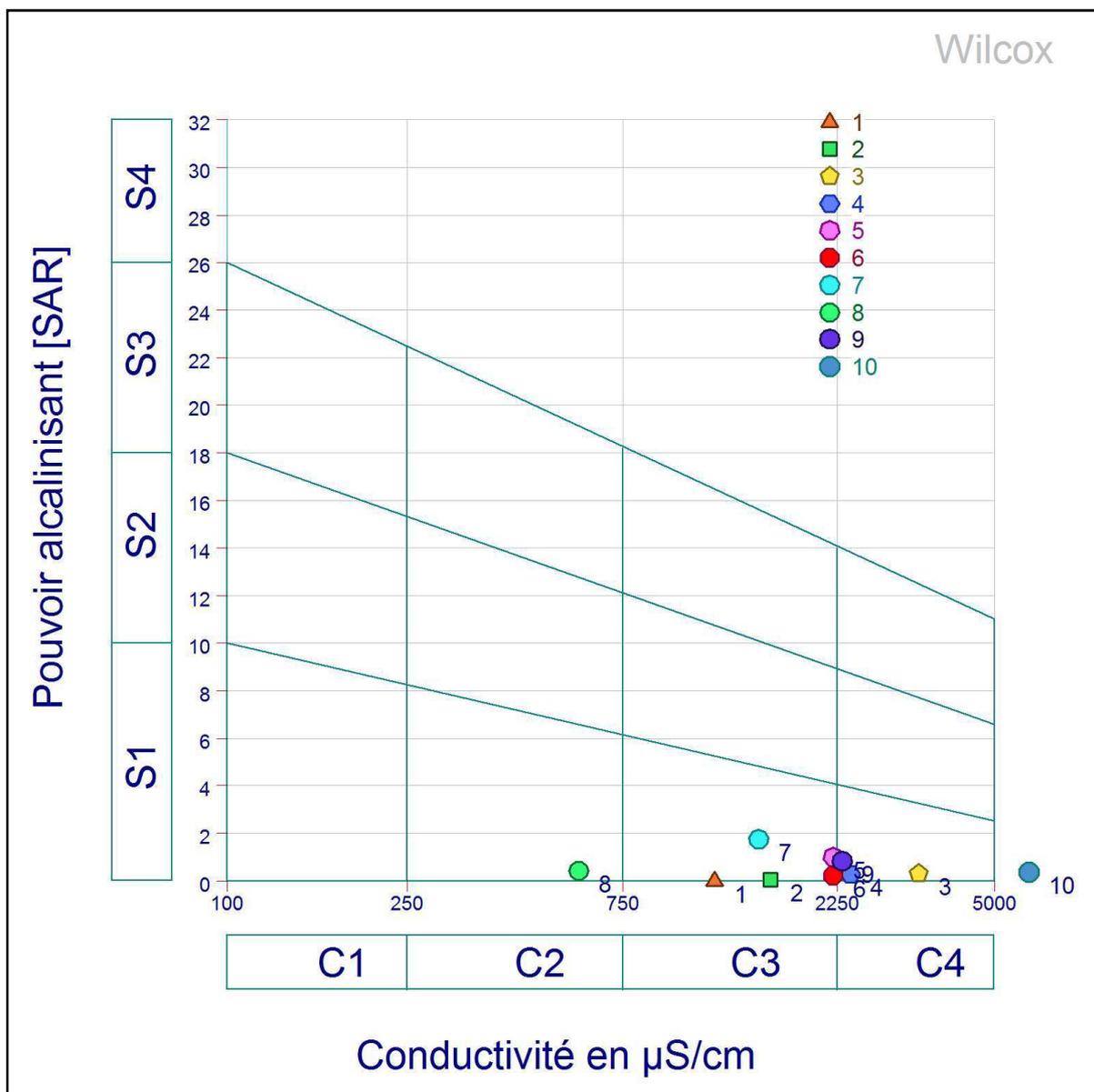


Figure N°55: Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) (DHW 2011).

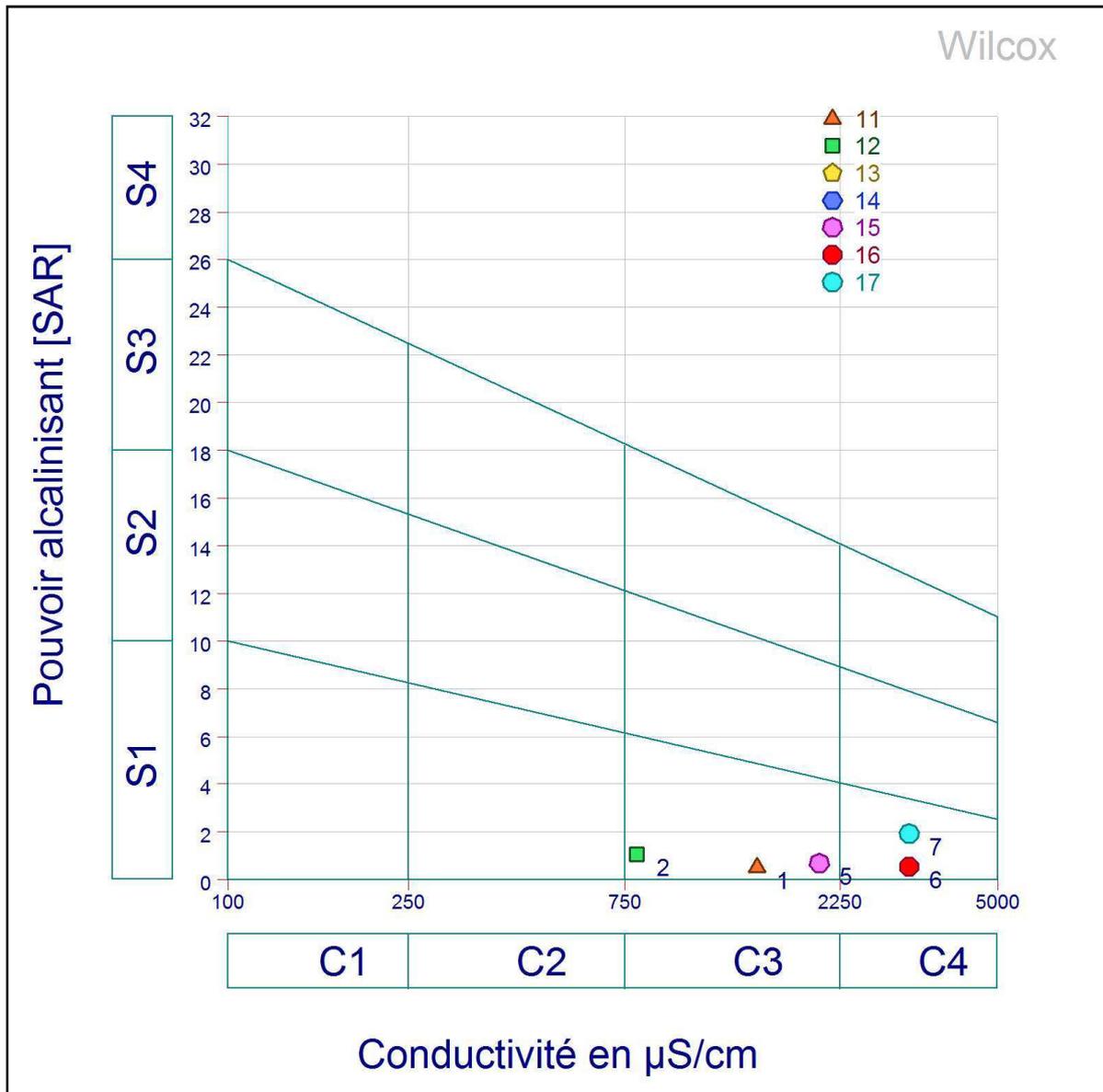


Figure N°56: Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) (DHW 2011).

## VI.6. Evaluation de la qualité des eaux des barrages de Foum El Gueiss et Babar :

### VI.6.1- Faciès chimiques:

L'interprétation des résultats des analyses chimiques révèle deux faciès chimiques dominants :

- Le premier de type Bicarbonate – Calcique correspondant barrage Foum El Gueiss.
- Le second de type Sulfaté- magnésienne correspondant barrage Babar.

Le Tableau suivant donne les résultats des faciès chimiques en fonction des formules ioniques de chaque analyse.

**Tableau N ° 21: Représentation des formules ionique et des faciès correspondants.**

analyse	Date de prélèvement	Formule ionique	Faciès chimique
Foum El Gueiss	2011/2013	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonate – Calcique
Babar	2011/2013	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Ca}^{2+}$	Sulfaté – magnésienne

### VI.6.2. Les Paramètres Physiques :

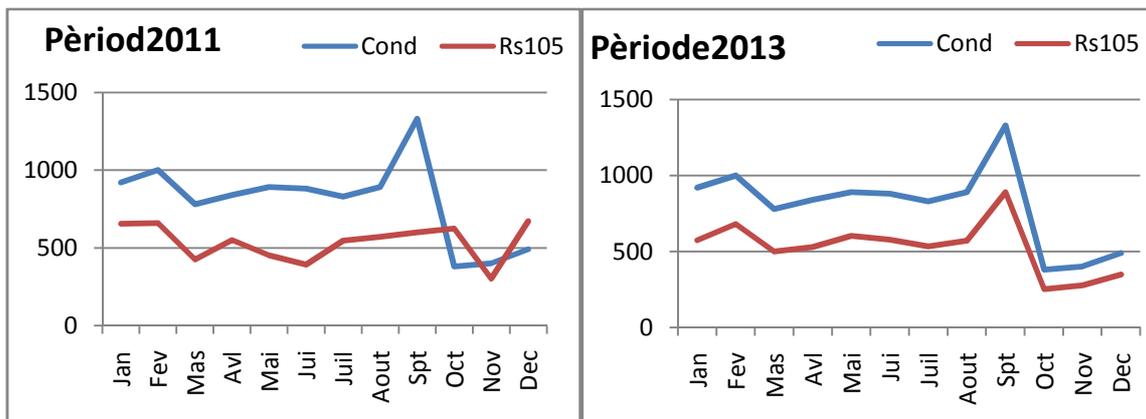
#### VI.6.2.1. La Conductivité Et Le Résidu Sec :

Les valeurs mesurées de la conductivité ont été corrigées à une température standard de 20° C. La conductivité électrique permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau.

La matière et la masse de résidu dépendent de la température d'assèchement puisque, selon leur stabilité et volatilité, certaines substances risquent d'être décomposées et volatilisées.

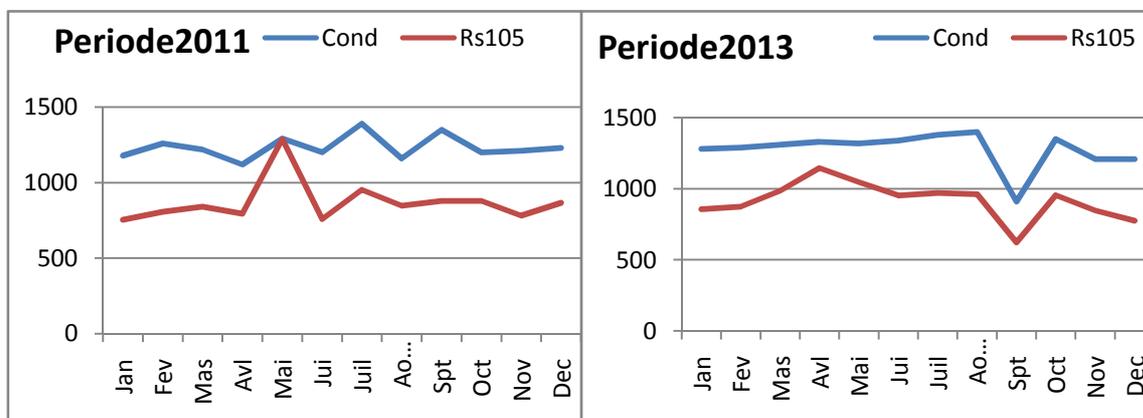
La norme de potabilité admissible pour la conductivité d'après l'O.M.S est de 1500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

La norme de potabilité pour le résidu sec d'après l'O.M.S (1200 mg/l à 180 C°).



**Figure N°57 : Représentation graphique de l'évolution de Cond et Rs (2011et 2013) de Fom El Gueiss.**

Généralement les deux paramètres ne dépassent pas les normes dans les deux périodes et les valeurs les plus forts correspondent au période des bases eaux atteinte 1400 µs/cm. Pour la conductivité dans les deux périodes est 800 mg/l à 180 C° pour les résidus secs au période 2013.et que les valeurs les plus faibles enregistrées dans la période de hautes eaux.



**Figure N°58 : Représentation graphique de l'évolution de Cond et Rs (2011et 2013) de Babar.**

A Babar on voit aussi que ces paramètres ne dépassent pas les normes et que les plus fortes valeurs suivi par d'autres qui sont plus faible explique par la nature pluviométrique de cette zone les faible valeurs sont apparues dans la période 2013.

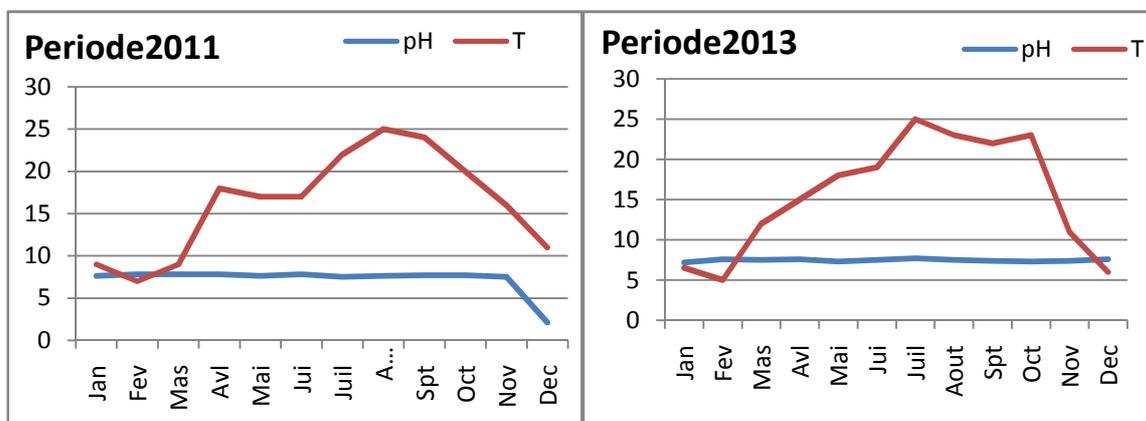
**VI.6.2.2. La Température et Le pH :**

L'eau est déversée directement dans l'Oued puis la température chute progressivement pour atteindre une moyenne de 20 C° au niveau de la cuvette du barrage.

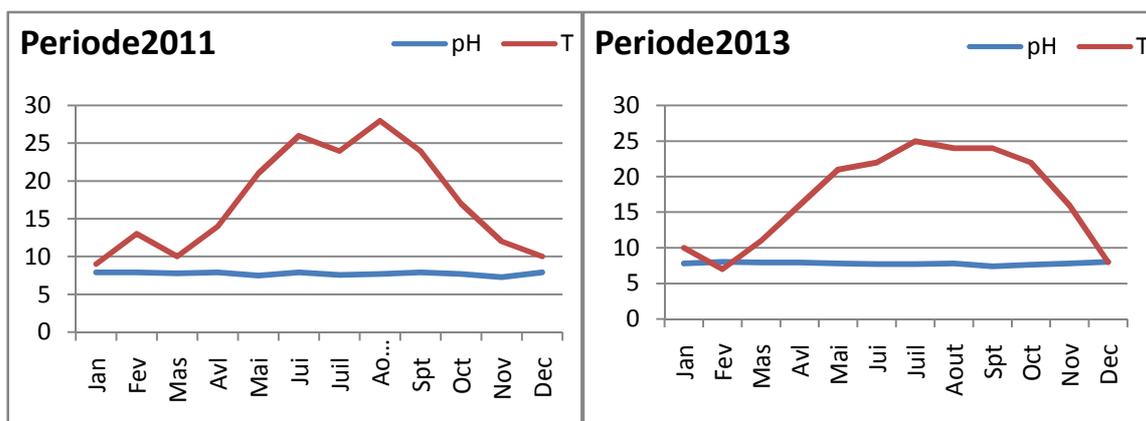
A partir des valeurs du pH mesurés durant les différents mois de l'année 2012. Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité mais avec des valeurs variables, le pH mesuré est de l'ordre de 7.6. Il est compris entre 6.5-8.

La norme de potabilité d'après l'O.M.S pour la T < 25 C°.

La norme de potabilité d'après l'O.M.S pour la pH (6.5-9.22).



**Figure N°59 : Représentation graphique de l'évolution de pH et T (2011et 2013) de Fom El Guess.**

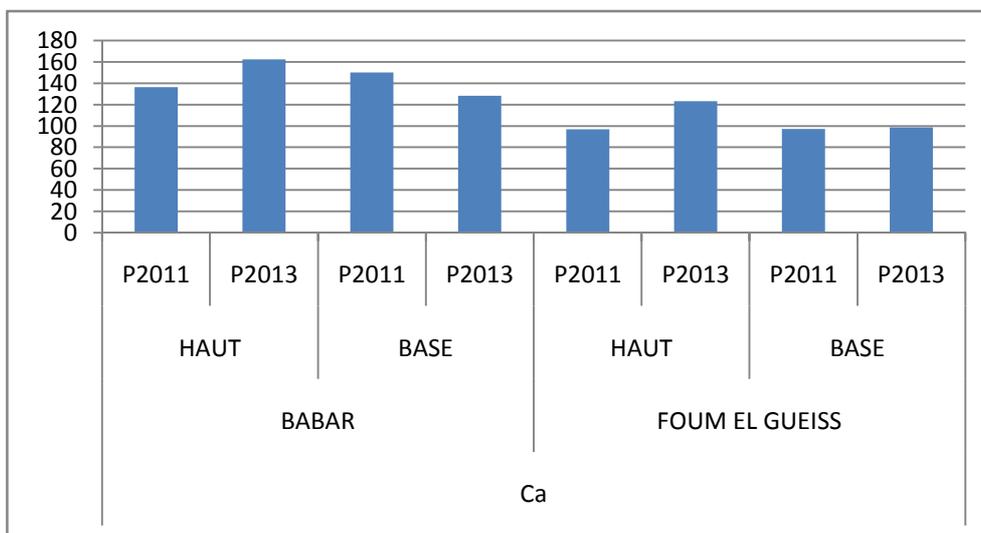


**Figure N°60: Représentation graphique de l'évolution de pH et T (2011et 2013) de Babar.**

Le PH est dans les normes admissibles. Les valeurs la plus forte valeur de la température et enregistrée dans la période 2011 à la station de Babar.

**VI.6.3.Les éléments majeurs :** pour les éléments majeurs cations Ca, Mg et Na et les anions Cl, SO<sub>4</sub> et HCO<sub>3</sub> on prendra des analyses des deux périodes (2011 et 2013) dans les hautes eaux et les bases eaux pour les deux barrages.

**VI.6.3.1.Le Calcium :** un élément alcalinoterreux qui se trouve dans les eaux thermo-minérales dans les milieux calcaire ou dans les roches calcaire sous forme des carbonates ainsi dans des formations gypsifères tout ces sont à l'origine des ca dans les eaux. Les normes de potabilité d'après l'O.M.S de Ca est de 200mg/l.

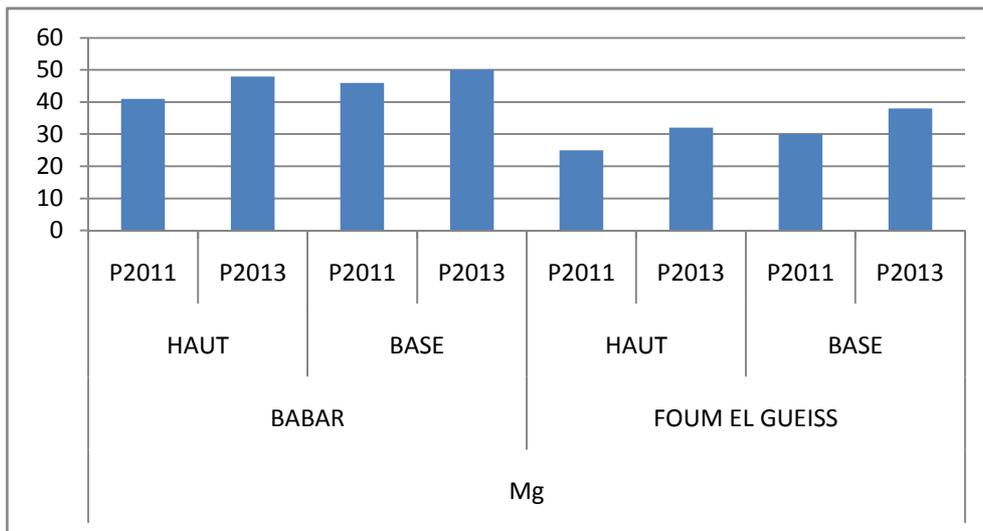


**Figure N° 61: Représentation graphique de l'évolution de Ca en (2011et 2013) De Foug El Gueiss et Babar.**

On voit que le ca ne dépasse pas les normes en raison de la dilution, les valeurs les plus élevés sont celles dans les hautes eaux en période 2013, aussi on peut dire que les valeurs de Babar sont plus élevés avec celles de Foug El Gueiss expliquer par les formations carbonates à Dj.Djahfa et les apportes des oueds.

**VI.6.3.2.Le Magnésium :** Les origines du magnésium sont comparables à celles du calcium, il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneur en magnésium (la magnésite et la dolomite).

La norme de potabilité d'après l'O.M.S est de 150 mg /l.

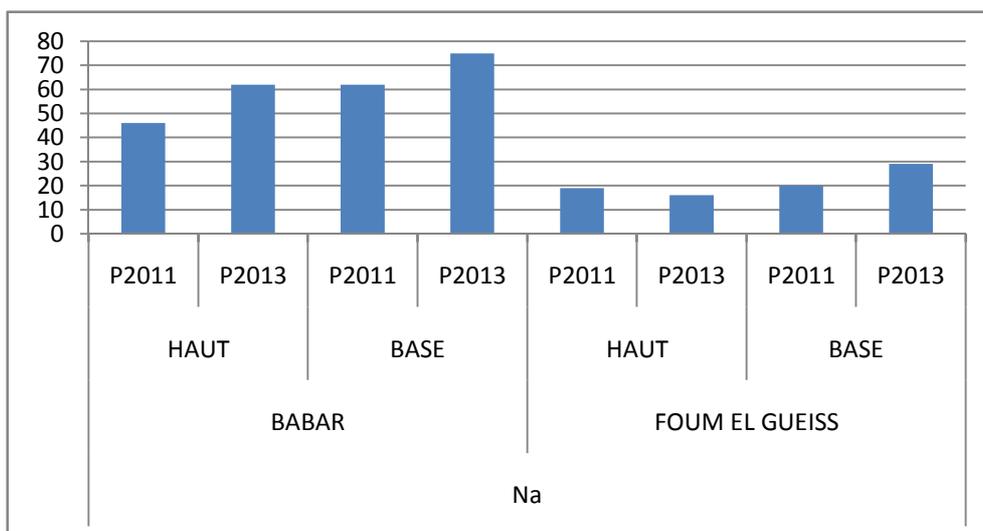


**Figure N°62: Représentation graphique de l'évolution de Mg en (2011et 2013) de Fom El Gueiss et Babar.**

Le magnésium est l'élément majeur le moins abondant dans les eaux du barrage , les teneurs en  $Mg^{2+}$  sont inférieures à 150 mg/l, elles varient entre 25mg/l min et 50mg/l max.il reste que les valeurs de Babar sont plus élevées de Fom El Gueiss

**VI.6.3.3.Le Sodium :** Le composé du sodium le plus important est le chlorure de sodium communément appelé sel. Parmi les autres composés, on trouve les carbonates de sodium, bicarbonate de sodium, l'hydroxyde de sodium et provient aussi des argiles.

La norme de potabilité d'après l'O.M.S est100 mg /l.

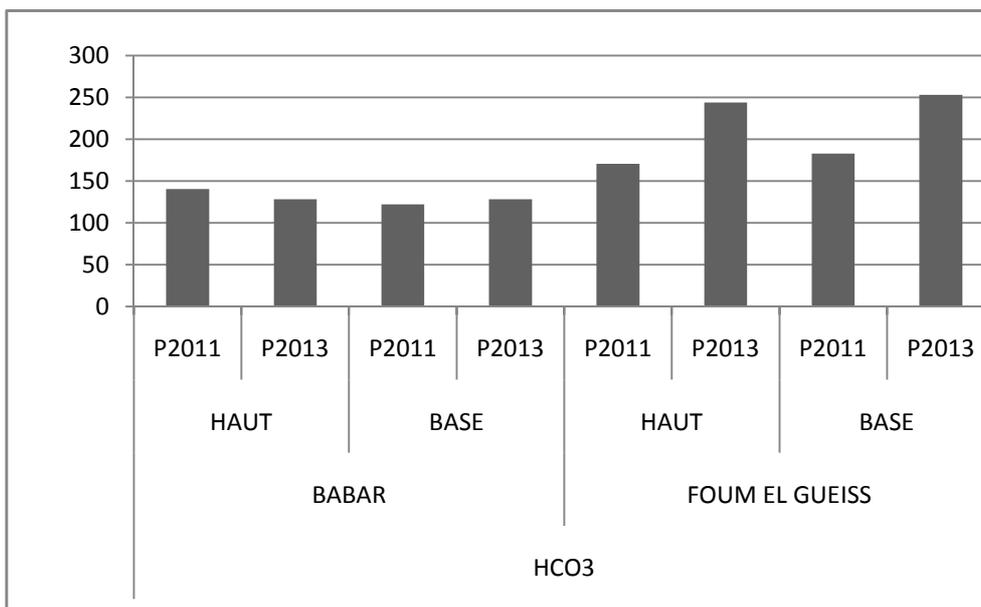


**Figure N°63 : Représentation graphique de l'évolution de Na en (2011et 2013) De Fom El Gueiss et Babar.**

On voit que les valeurs les plus élevées sont celles du période base eaux et ils progressent avec le temps apparues dans la période 2013 les valeurs dans le barrage de Babar sont plus grandes à celles de Foum El Gueiss expliques par les terres entoures le barrage sont des terres agricoles. atteint la valeur 75 mg /l.

**VI.6.3.4. Les Bicarbonates :** La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formation Carbonatées (Cipolin, Calcaire, Dolomie minéralisation de la matière organique).

La norme de potabilité d'après l'O.M.S est de 250 mg /l.

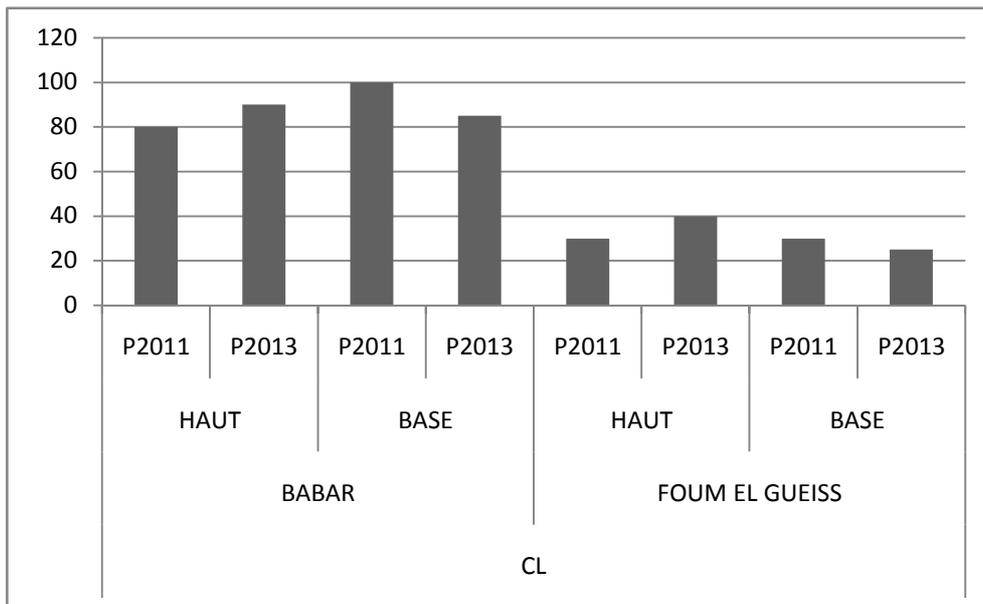


**Figure N°64 : Représentation graphique de l'évolution de HCO<sub>3</sub> en (2011et 2013) De Foum el Gueiss et Babar.**

On voit que les valeurs les plus élevées sont celles du période base eaux avec celles de Foum El Gueiss qui sont plus grandes expliques par la dissolution des formations carbonatées, par contre celles de Babar est expliques par les rejets des eaux urbain.

**VI.6.3.5. Les Chlorures :** L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations Salifères. Les chlorures proviennent aussi des eaux usées domestiques non contrôlées.

La norme de potabilité d'après l'O.M.S est 250 mg /l.

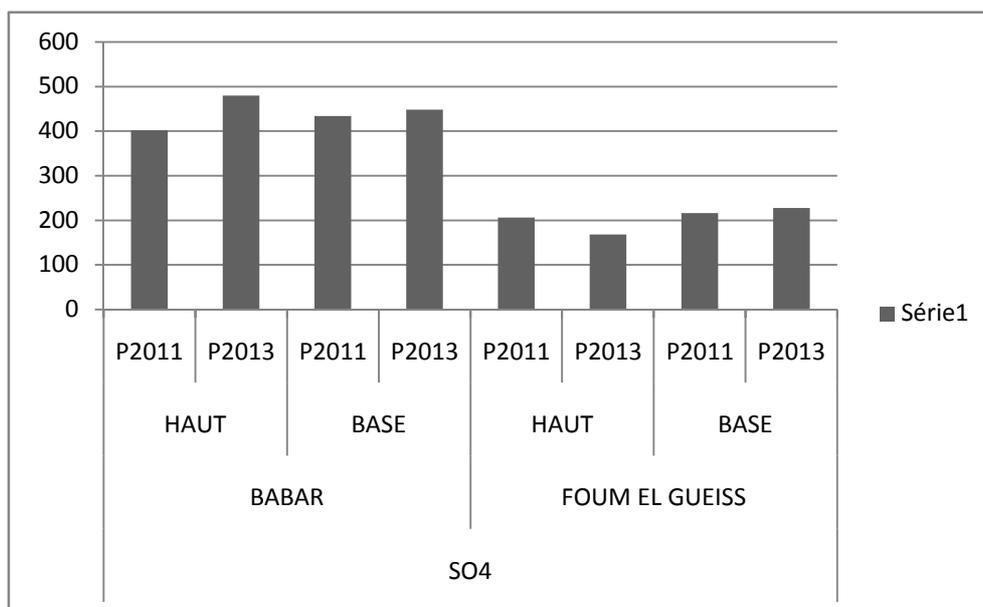


**Figure N°65 : Représentation graphique de l'évolution de Cl en (2011et 2013) de Foug El Gueiss et Babar.**

A Babar les teneurs plus élevées sont au période des base eaux confirme la dissolution des formations salifères et rejets urbain et à Foug El Gueiss au période des hautes eaux par les formations argileuses.

**VI.6.3.6.Les Sulfates :** Sa présence dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypsifères.

La norme de potabilité d'après l'O.M.S est de 250 mg /l.



**Figure N°66: représentation graphique de l'évolution de SO4 en (2011et 2013) De Foug El Gueiss et Babar.**

Dans la région de Babar les valeurs sont plus grandes a celles des Foug El Gueiss lie a la présence des formations gypsifères (les argiles, marnes, gypses) ou elles dépassent les normes et atteint les valeurs de 500 Mg/L dans la période des hautes eaux.

### **VI.7.Vulnérabilité Et Risque De Pollution Des Eaux :**

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des nappes et la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles est importante pour la gestion des ressources en eau.

#### **VI.7.1Paramètre de pollution dans les eaux souterraines :**

Le développement agricole entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'Azote, surtout celle des nitrates, en raison de leur grande solubilité aux échanges ioniques. Les autres formes chimiques de l'Azote (nitrites et ammonium) apparaissent seulement dans des conditions réductrices.

L'azote est présent au niveau de la zone d'étude sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et ammonium).

##### **VI.7.1.1. Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

Représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les valeurs dosées oscillent entre 0 et 135 mg/l et la valeur moyenne correspond à 43 mg/l. les teneurs qui dépassent 50 mg/l (seuil admissible selon les normes OMS) sont observées au Nord et Nord –Ouest de la wilaya, où on a observé une intense activité agricole.

Toutefois, les eaux de la nappe profonde captée par des forages profonds ne sont pas affectées par cette pollution. Dans la région, les teneurs en nitrates sont pour la majorité des points analysés inférieurs à la norme admissible.

Au voisinage de la commune Remila, les eaux prélevées dans les puits domestiques sont par contre polluées par ces éléments(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La présence de fosses septiques et l'assainissement rudimentaire qui caractérise cette localité en seraient les causes principales.

##### **VI.7.1.2. Les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) :**

Les valeurs les plus élevées et qui dépassent le seuil de potabilité (0.1mg/l) sont observées à Nord-Ouest. Les fortes valeurs sont également observées au Nord.

##### **VI.7.1.3. L'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) :**

Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains, soit par réduction des formes azotées en conditions réduites. Les plus élevées qui dépassent les normes de 0.5 mg/l sont surtout observées au Nord au niveau de puits et. d'une façon générale

les valeurs varient de 0 à 1.6 mg/l .les régions à forte teneur en NH4 + correspondent grossièrement à celles où nous avons mesuré des teneurs en nitrates et nitrites, toutefois il convient de dire que certains puits sont peu protégés et sont réalisés près des fosses septiques, soit non couverts.

**VI.7.2. Les Eléments Indicateurs De La Pollution Urbaine dans les eaux de surface :**

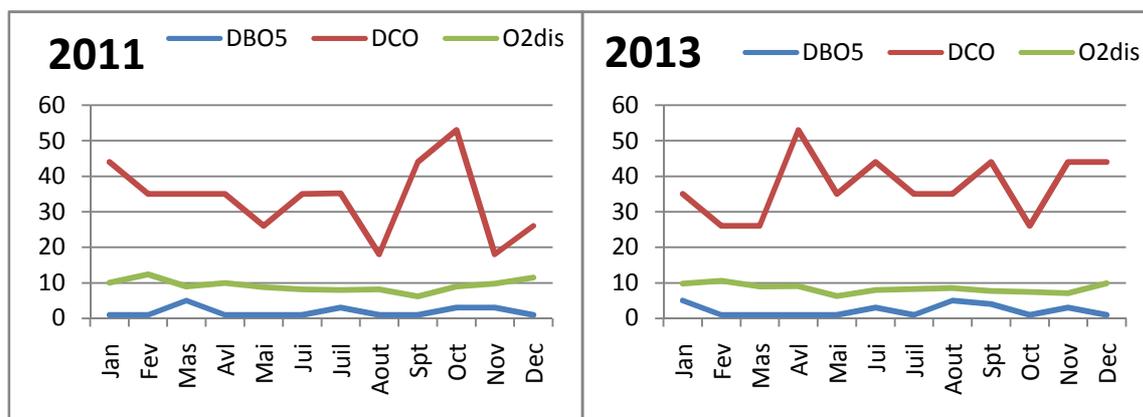
La période d’observation s’étale sur les années 2011 et 2013, ce qui nous permet de suivre progressivement l’évolution de la qualité des eaux pendant les deux périodes .

**Tableau N°22 : classe de la qualité des eaux d’après L’OMS Des éléments indicateurs de la pollution.**

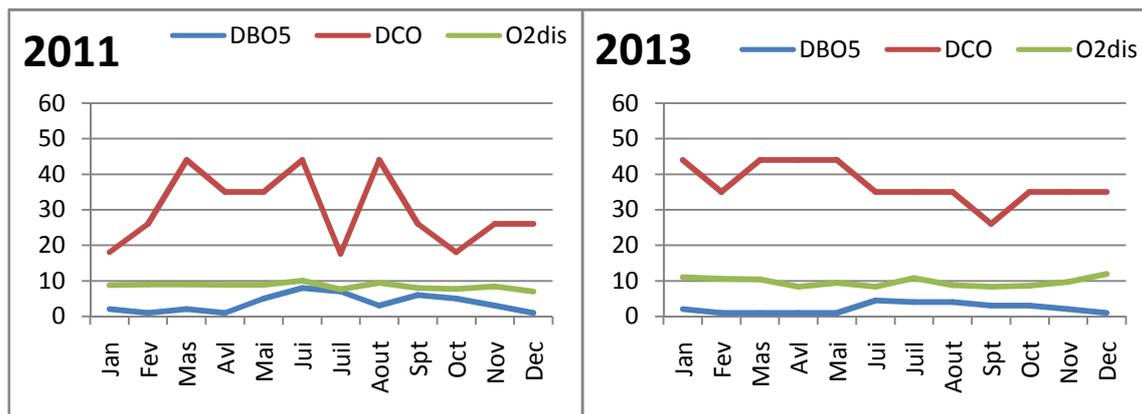
Classe de qualité	unité	excellent	bonne	passable	mauvaise
DBO5	mg/l	<3	3-5	5-10	>10
DCO	mg/l	<20	20-25	25-40	>40
O2	mg/l	>7	5-7	3-5	<3
NO <sup>-</sup> 2	mg/l	<0.1	0.1-0.3	0.3-1	>1
NO3	mg/l	<5	5-25	25-50	>50
NH4 <sup>+</sup>	mg/l	<0.1	0.1-0.5	0.5-4	>4

**VI.7.2.1.Les Matières Oxydable : DBO5, DCO, O2**

La consommation d’oxygène traduit la dégradation naturelle des matières organiques contenues dans l’eau que se soit chimique ou biochimique.



**Figure N°67 : représentation graphique de l’évolution de DBO5, DCO et O2 (2011et 2013) de Foum El Gueiss.**



**Figure N°68 : représentation graphique de l'évolution de DBO5, DCO et O2 (2011 et 2013) de Babar.**

On voit les courbes de l'évolution des paramètres oxydable durant les deux années et on compare avec les classe des qualités des eaux dans le tableau au dessus on révèle que les eaux des deux barrages (Babar et Foum El Gueiss) passent au minimum à deux classe de qualité le DBO5 et O2 varie entre bonne et excellent dans les deux périodes des basses et hautes eaux avec quelques exceptions de DBO5 dans la période des basses eaux où il passe à la classe passable avec des teneurs de 7 et 8 mg/l. Le DCO a un comportement inverse aux deux autres il passe de bonne et passable dans la période des basses eaux au mauvaise dans les périodes des hautes eaux avec une concentration presque de 50 mg/l, le rapport de DCO/DBO5 est toujours supérieur à 3 confirme la pollution industrielle.

**VI.7.2.2. Le Cycle De L'azote :** Ce cycle est naturel, au cours duquel l'azote atmosphérique pénètre dans le sol, entre dans la composition des organismes vivants, puis retourne dans l'atmosphère. L'azote, principal constituant des acides aminés, élément essentiel à la vie, il représente 78% de l'atmosphère terrestre. Mais avant d'être utilisé par les transformations chimiques. Il existe sous différentes formes :

- 1- L'azote moléculaire ( $N_2$ ), gazeux, c'est l'azote atmosphérique.
- 2- L'ammoniac ( $NH_3$ ) qui entre dans la composition des protéines, se trouve sous la forme d'ion ammonium  $NH_4$  lorsqu'il est dissous (Toxique) l'ammoniac est éliminé par les êtres vivants, notamment sous forme d'urée, d'acide urique et d'ion ammonium.
- 3- L'ion nitrate ( $NO_3^-$ ), sel de l'acide nitrique ( $HNO_3$ ).
- 4- L'ion nitrite ( $NO_2^-$ ).

Nous avons effectué le suivi de l'azote dans sa forme liquide.

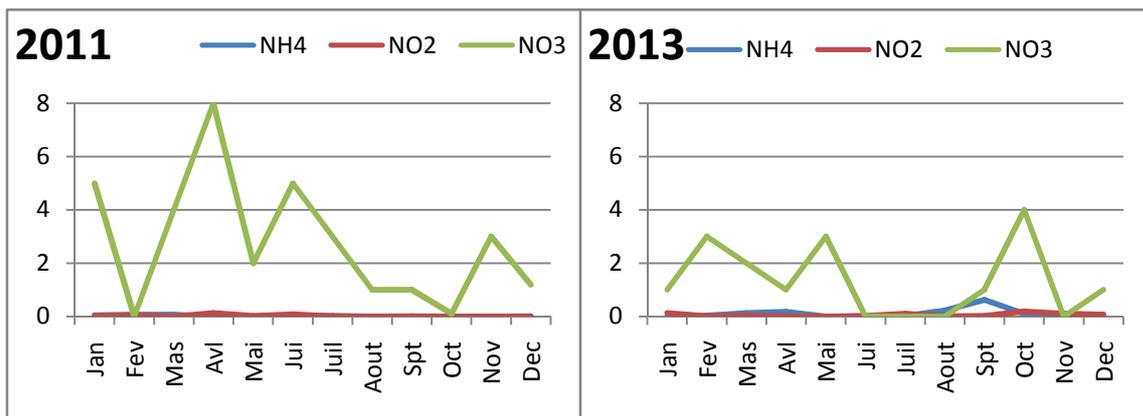


Figure N°69: représentation graphique de l'évolution de NH4, NO2 et NO3 (2011et 2013) de Foug El Gueiss

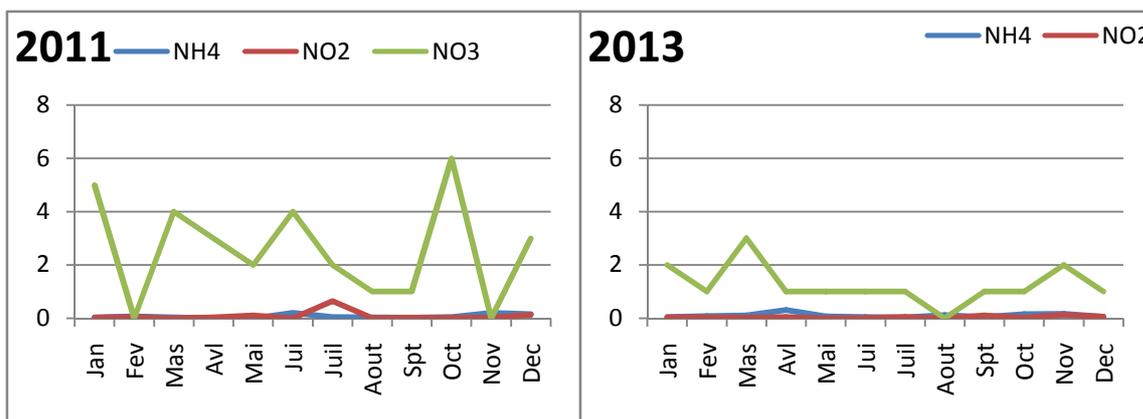


Figure N°70 : représentation graphique de l'évolution de NH4, NO2 et NO3 (2011et 2013) de Foug El Gueiss.

Des courbes de NH4, NO2 et NO3 on remarque des qualités appartient au classe bonne dans les deux barrages Babar et Foug El Gueiss, et au de période des hautes et base eaux. au raison des traitements subir au station.

**VI.8.Origine de la pollution :****VI.8.1.Pollution d'origine domestique et urbaine:**

Ce genre de pollution se manifeste sous l'influence de certains polluants dont leurs origines proviennent des rejets urbains qui sont essentiellement de matières minérales, et organiques sous forme dissoute et en suspension. Ces rejets sont soit des eaux de cuisine, lavage des rues et les eaux usées et d'autres.

Cette pollution apparaît beaucoup plus au niveau de la région de Baghai, elle est due à l'irrigation des terres agricoles par les eaux usées même d'origine industrielle.

**VI.8.2.Pollution d'origine agricole :**

Cette pollution est due essentiellement à l'utilisation irrationnelle et intensive des engrais chimiques notamment les Nitrates, Nitrites et Phosphates et des pesticides ainsi que d'autres produits phytosanitaires. Dans ce sens pour toutes utilisations des engrais chimiques.

C'est le cas de la plaine de Rémila à Kais et la région de Mahmel et Zoui qui sont affectées par ce type de pollution.

**VI.8.3. Pollution d'origine industrielle :**

C'est une pollution qui se manifeste et se propage sous l'effet de l'utilisation des eaux d'origines industrielles pour l'irrigation. Dans notre région d'étude, la région limitrophe de la zone industrielle (S.N.L.B-ELATEX, ENATB etc.....), est une région touchée par ce genre de pollution.

**VI.8.4.Interprétation la carte de vulnérabilité à la pollution de la région de Khenchela :**

L'établissement d'une carte de pollution au niveau de la Wilaya est nécessaire.

Les zones concernées dans la carte, montrent qu'à l'état actuel, le degré de pollution est très faible; la pollution sera d'autant plus accentuée en cas de non contrôle des eaux industrielles, de l'utilisation intensive des engrais, et le non traitement des eaux usées.

La réalisation d'une station d'épuration est très nécessaire pour la Wilaya, notamment dans la région Nord (plaine de Begaga et Baghai), ainsi que la plaine de Mahmel.

Cette carte montre les zones affectées par les trois types de pollutions.

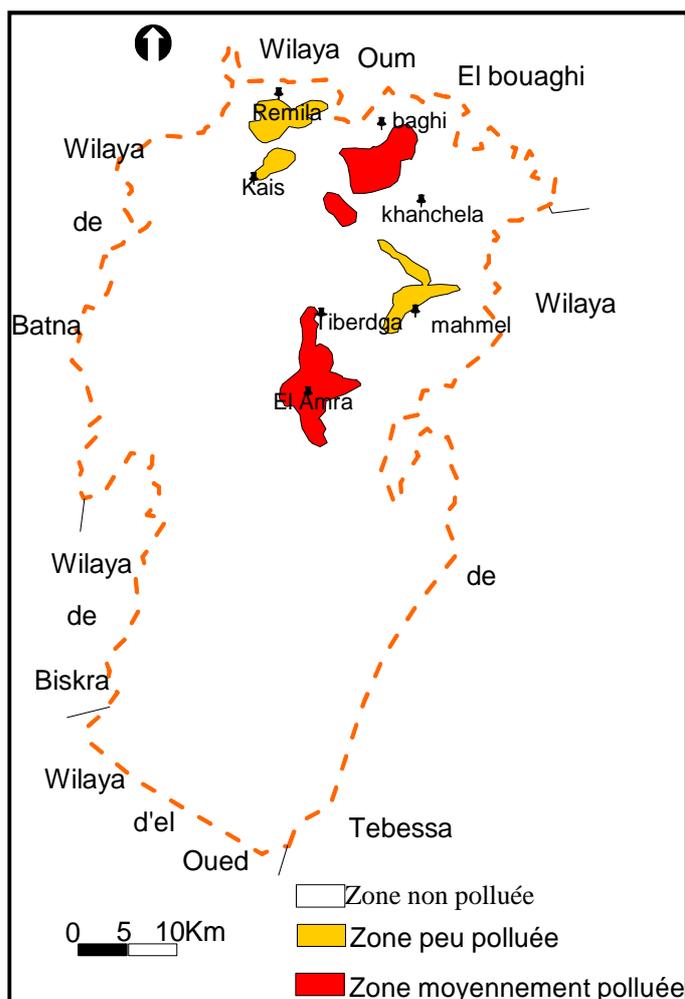


Figure N°71: Carte de vulnérabilité à la pollution de la région Khenchela.

## VI.9. Conclusion:

L'étude hydrochimique de la région qui est basé sur l'analyse et l'interprétation des 17 forages et deux barrages pour les deux périodes (2011 et 2013). Les échantillons montrent la prédominance des éléments chimiques ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) et permettent de distinguer cinq faciès chimiques dans les souterraines et les eaux de surface.

- faciès Sulfaté Calcique.
- Chloruré sodique.
- Chloruré calcique.
- Sulfaté magnésien.
- Bicarbonaté calcique.

L'origine de la salinité des eaux est due principalement à la dissolution des formations gypso-salifères.

L'aquifère calcaire alimente la nappe superficielle et ce qui influe probablement sur les échanges de base  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Na}^{+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$ .

Les eaux sont également peu favorables à l'irrigation.

Les paramètres de pollution se présentent avec des teneurs très élevées surtout en nitrates et en ammonium dans les eaux souterraines.

La cartographie des zones de vulnérabilité à la pollution des eaux des nappes a révélé trois zones de vulnérabilité différente.

Les eaux de la région sont exposées aux trois genres de pollution, une pollution d'origine urbaine et domestique, pollution d'origine agricole et pollution d'origine industrielle.

Cette pollution à l'état actuel montre un degré très faible, mais le non contrôle peut accentuée cette pollution.

## Conclusion générale

Cette étude nous a amené à conclure les résultats suivants :

La wilaya de Khenchela dans sa structure géologique. Appartient au massif des Aurès. Avec une stratigraphie qui s'étale du Trias jusqu'au Quaternaire, sa partie nord ce sont les hauts plateaux la partie sud c'est la plate forme saharienne, ou on observe une diversité de formations géologiques, qui donne naissance à trois systèmes aquifères deux sont profonds et une nappe superficielle.

La région est soumise à l'influence d'un climat semi-aride à aride caractérisé par une période humide qui s'étend du mois d'octobre au mois de mai, et une autre sèche qui débute au mois de mai et se termine au mois de septembre. Elle reçoit en moyenne une pluviométrie variant entre 522.37 mm/an et 301.5 mm/an, mesurée dans deux stations, sous une température moyenne annuelle de l'ordre de 15°C. Variant d'une région à une autre.

Le bilan hydrique de la zone d'étude montre les caractéristiques suivantes : une évapotranspiration réelle représentant 87.50% et 96.53% des précipitations et plus de 5.50% d'excédent qui se traduit plus tard en infiltration efficace.

La zone de Khenchela comporte trois nappes aquifères. La nappe du Quaternaire la plus important et plus exploitée par les forages avec une épaisseur varie de 5 à 30m. La nappe du Crétacé qui vient en seconde position marquée par des formations semi-perméables avec l'épaisseur dépasse 250m. La nappe du Miocène est la troisième selon l'importance l'eau circule dans les grès blancs grossiers du Turonien inférieur et grès blanc du Langhien-serravalien L'épaisseur de cette aquifère varie de 100 à 200 m.

L'étude des paramètres hydrodynamiques a permis de déterminer des valeurs de transmissivité de l'ordre de  $10^{-6}$  varie de  $0.6310^{-3}$  à  $4.94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , des perméabilités qui varient entre  $2,6 \cdot 10^{-6}$  et  $2,25 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  et une porosité efficace comprise entre 6 et 25%.

La piézométrie a mis en lumière que l'alimentation de la nappe se fait essentiellement par infiltration des eaux de pluie ainsi que par ruissellement diffus sur les reliefs des anticlinaux et des djebels khenchela. Chelia. Djahfa. Cherchar. Hamimat . L'écoulement souterrain est dirigé vers chott Gerat el Taraf au Nord et vers chott Melghir dans le Sud suivant une ligne de partage des eaux.

L'étude hydrochimique de la région qui est basé sur l'analyse et l'interprétation des échantillons montre la prédominance des éléments chimiques ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) et permettent de distinguer cinq faciès chimique, faciès Sulfaté Calcique, Chloruré sodique, Chloruré calcique, Sulfaté magnésien, Bicarbonaté calcique. L'origine de la salinité des eaux est due principalement à la dissolution des formations gypso-salifères.

La cartographie des zones de vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappe a révélé trois zones de vulnérabilité différente. Les eaux de la région sont exposées aux trois genres de pollution, une pollution d'origine urbaine et domestique, pollution d'origine agricole et pollution d'origine industrielle. Cette pollution à l'état actuel montre un degré très faible, mais le non contrôle peut accentuée cette pollution.

- BAKALOWICZ M (1979)** : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. *Thèse Doctorat Es. Sciences.*
- BELABED ADNANE ET BOUSSELBA NASSAR (1998)** : Ressources Et Approvisionnements En Eau Dans La Région De Khenchela (Essai De Synthèse).
- BELAFDHLE NOUEL (2012)** : Contribution A L'étude Hydrogéologique De La Plaine De Baghai (Wilaya De Khenchela)
- BOUBLI SALIM (2009)** : Identification Et Mise En Evidence Des Formation Hydrogéologique De La Wilaya De Khenchela (Nord Est Algerien) Analyse Et Synthèse Des Données.
- CASTANY G (1967)** : Traité pratique des eaux souterraines. *Ed. Dunod, Paris.*
- CASTANY G (1968)** : Prospection et exploitation des eaux souterraines. *Ed. Dunod, Paris.*
- CASTANY G (1982)** : Hydrogéologie principes et méthodes. *Ed. Dunod, Paris*
- CHABOUR N (2005)** : Hydrogéologie des domaines de transition entre l'atlas saharien et la plate forme saharienne à l'Est de l'Algérie. *Thèse de doctorat, F.S.T, Constantine, Algérie.*
- HOUHA BELGACEM (2007)** : Etude Du Fonctionnement Hydrodynamique Et Salin D'un Bassin Semi Aride .Remila –Khenchela.
- HOUHA B (1996)** : Quantité et qualité des eaux souterraines de la région de Khenchela (Garât Tarf). *Mémoire de Magister, F.S.T*
- GAAGAI AISSAM (2009)** : Etude Hydrologique Et Hydrochimique Du Bassin Versant Du Barrage Barbar Sur Oued El Arab Region Est De L'Algérie.
- LAALIA LABED (2007)** : Contribution A L'étude Hydrochimique Et Hydrogéologique De La Plaine Alluviale Remila Wilaya De Khenchela
- LAFFITE R (1939)** : Etude géologique de l'Aurès. *Thèse, Paris, Bull Serv. Carte Géol. Algérie,*
- MINZER D (2005)** : Etude des particularités morphogéologiques de la région Ouest de Khenchla apports de la photogéologie. *Mémoire d'ingénieur, F.S.T, Constantine, Algérie.*

- SAMI LALLAHEM (2002)** : Structure Et Modélisation Hydrodynamique Des Eaux Souterraine Application A L'aquifère Crayeux De La Bordure Nord Du Bassin De Paris.
- SENOUCI M. ET ALL (2000)** : Etude hydrogéologique de la vallée d'Oued El Abiod (Aurès, W.Batna). *Sonatrach, division d'opération, Hassi Messaoud, Algérie.*
- TITEL RAMZI (2004)** : Contribution De La Geophysique A L'etude Hydrogeologique De La Plaine Remila (Wilaya De Khenchela).
- VILA J.M (1980)** : La chaîne Alpine d'Algérie Orientale et les confins Algéro-Tunisien. *Thèse es. Science, Paris*
- VILA J.M (1977)** : Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.
- ZAIR NAJET (2009) :** : Etude Hydrogéologique Et Problèmes De Vulnérabilité Des Nappes Quiferes Dans La Région D'oum El Bouaghi).
- Algéro-Allemande (GTZ) (2009)** : (PDARE) Bassin hydrographique de Chott Melghir Rapport finale

## Tableaux des analyses chimique en 2011 du barrage Babar

babar 2011	01/2011	02/2011	03/ 2011	04/ 2011	05/ 2011	06/ 2011	07/ 2011	08/ 2012	09/ 2011	10/ 2011	11/ 2011	12/ 2011
ALC	125	145	110	115	100	85	10	105	95	100	100	100
Ca	149.8	144.4	153.4	136.3	141.1	134.4	150.2	109.6	133.8	140.3	130.7	133.2
Cl	80	85	85	80	80	80	100	75	105	90	110	0
Cond	1180	1260	1220	1120	1290	1200	1390	1290	1160	1350	1200	1210
Cu	0.016	0.05	0					0.4				0.002
DBO5	2	1	2	1	5	8	7	3	6	5	3	
DCO	18	26	44	35	35	44	17.6	44	26	18	26	26
Fe	0.596	0.237	0.365					0.063				0.248
HCO3	152.5	176.9	134.2	140.3	122	103.7	122	128.1	115.9	122	122	122
K	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2
MES105	16	20	24	10	18	20	8	18	16	14	20	18
Mg	4551	45	40	41	43	48	46	49	46	44	43	42
Mn	0.042	0.043	0.135					0.009				0.129
MOAcide	7.7	4.2	6.2	6.2	6.2	5.9	4.3	9.1	5.6	4.5	6.3	4.5
Na	33	36	54	46	68	67	62	78	65	62	66	62
NH4	0.03	0.07	0.03	0	0	0.2	0.05	0.03	0.02	0.05	0.2	0.15
NO2	0.03	0.05	0	0.04	0.11	0	0.65	0.01	0.02	0.02	0.02	0.13
NO3	5	0	4	3	2	4	2	1	1	6	0	3
O2dis	8.8	9	9	8.9	8.9	10	7.6	9.4	8	7.7	8.4	7
Ph	7.9	7.9	7.8	7.9	7.5	7.9	7.6	7.7	7.9	7.7	7.3	7.9
Rs105	754	808	840	794	1290	758	954	848	880	878	782	866
saturat %	75.86	84.9	79.6	85.57		121.92	89.41	114.63	94.11	79.38	77.77	61.9
SO4	342	354	412	402	410	428	434	440	412	434	358	352
T	9	13	10	14		26	24	28	24	17	12	10

## Tableaux des analyses chimiqueen 2013 du barrage Babar

babar2013	07/01/2013	21/02/2013	12/03/2013	14/04/2013	12/05/2013	05/06/2013	10/07/2013	22/08/2013	04/09/2013	08/10/2013	12/11/2013	03/12/2013
ALC	100	100	105	105	100	95	105	110	145	110	315	90
Ca	124.4	114	169.2	162.4	140	188	128.4	157.8	117.1	129.6	149.3	150.9
Cl	95	90	95	90	90	85	85	90	30	80	205	70
Cond	1280	1290	1310	1330	1320	1340	1380	1400	910	1350	1210	1210
DBO5	2					4.5	4	4	3	3	2	
DCO	44	35	44		44	35	35	35	26	35	35	35
HCO3	122	122	128.1	128.1	122	115.9	128.1	134.2	176.9	134.2	384.3	109.8
Fe	0.067	0.212	0.154	0.619	0.002	0.109	0.082	0.572	1.96			
MES105	12	18	30	40	18	28	36	38	44	24	30	16
Mg	50	51	48	48	45	46	50	27	39	51	44	40
Mn	0.008	0.018	0.052	0.201	0.027	0.013	0.009	0.064	0.129			
MOAcide	6.5	7	4	7.2	8.2	4.8	6.7	7.5	9	5.5	7.2	8
Na	70	62	60	62	60	78	75	91	34	67	134	59
NH4	0.04	0.08	0.1	0.31	0.07	0.04	0.03	0.12	0.04	0.15	0.17	0.06
NO2	0.03	0.03	0.02	0.04	0	0.01	0.05	0	0.1	0.02	0.13	0.06
NO3	2	1	3	1	1	1	1	0	1	1	2	1
O2dis	11	10.6	10.4	8.3	9.4	8.3	10.8	8.8	8.3	8.6	9.7	11.9
Ph	7.8	8	7.9	7.9	7.8	7.7	7.7	7.8	7.4	7.6	7.8	8
PO4	0.1	0.06	0.1	0.13	0.08	0.01	0.02	0.08	0.08	0.08	0.02	0.06
Rs105	856	874	986	1146	1048	952	970	962	622	954	846	774
saturat %	97.3	86.88	93.69	83	104.4	94.3	128.5	103.5	97.64	97.7	98.48	100
SO4	432	502	476	480	440	466	448	450	310	472	260	400
T	10	7	11	16	21	22	25	24	24	22	16	8

## Tableaux des analyses chimiqueen 2011 du barrage Foum el Gueiss

foum gueiss 2011	09/01/201 1	08/02/201 1	08/03/201 1	06/04/201 1	10/05/201 1	05/06/201 1	03/07/201 1	04/08/201 1	05/09/201 1	03/10/201 1	02/11/201 1	09/12/201 1
ALC	200	155	180	140	170	63	150	150	185	160	130	200
Ca	110.9	109.8	92.1	96.8	100.5	69.5	97.1	86.6	110.5	108.5	58.3	111.1
Cl	40	35	40	30	20	0.5	30	50	35	35	10	40
Cond	910	870	650	690	700	520	7.9	780	880	910	480	0.9
DBO5	1	1	5	1	1	1	3	1	1	3	3	
DCO	44	35	35	35	26	35	35.2	18	44	53	18	26
HCO3	244	189.1	219.6	170.8	207.4	76.9	183	183	225.7	195.2	158.6	244
Fe	0.057	0.096	0									0.03
K	4	7	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2
MES105	30	28	30	690	34	16	22	22	80	18	22	12
Mg	31	35	23	25	22	19	30	36	40	43	9	32
Mn	0.099	0.007	0									0.013
MOAcide	8.3	9	3.7	3.2	5	2.6	3.8	4.6	4.4	5.9	5.8	5.8
Na	22	20	19	19	19	7	20	25	22	20	28	21
NH4	0.05	0.07	0.07	0	0	0.05	0.02	0	0	0	0	0
NO2	0.02	0.05	0	0.13	0.02	0.08	0.01	0	0.01	0	0	0.01
NO3	5	0	4	8	2	5	3	1	1	0.1	3	12
O2dis	10.1	12.4	9	10	8.8	8.2	8	8.2	6.2	9	9.8	11.5
Ph	7.6	7.8	7.8	7.8	7.6	7.8	7.5	7.6	7.7	7.7	7.5	2.1
PO4	0	0.2	0.25	0.6	1.3	0.2	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1	0
Rs105	656	660	426	550	452	392	546	572	600	624	302	672
saturat %	87.06	101.63	77.58	105.26	90.72	84.53	90.9	97.6	72.94	97.82	98	103.6
SO4	198	240	132	206	170	110	216	187	238	260	100	200

## Tableaux des analyses chimiqueen 2013 du barrage Foum el gueiss

foum gueiss	06/01/201 3	10/02/201 3	10/03/201 3	09/04/201 3	07/05/201 3	04/06/201 3	02/07/201 3	22/08/201 3	04/09/201 3	08/10/201 3	12/11/201 3	02/12/201 3
ALC	218	230	170	200	220	240	187	160	70	80	135	170
Ca	121.8	124.4	85	123.1	89	111.9	98.8	86.9	158.6	62.2	56.6	64.2
Cl	40	50	15	40	35	30	25	20	85	20	15	15
Cond	920	1000	780	840	890	880	830	890	1330	380	400	490
DBO5	5				1	3		5	4	1	3	1
DCO	35	26	26	53	35	44	35	35	44	26	44	44
HCO3	266.2	280.6	207.4	244	268.4	292.8		195.2	85.4	97.4	164.7	207.4
Fe	0.148		0.193	0.256	0.313	0.524	0.492	9.474	8.341			
K	3	3	5	5	3	1	1	1	2	2	1	4
MES105	14	20	16	18	36	22	22	28	26	16	10	20
Mg	28	38	30	32	40	33	38	43	48	8	11	14
Mn	0.03		0.032	0.035	0.058	0.009	0.659	0.363	0.102			
MOAcide	82	10.4	6.2	6.1	7.5	6.9	7.3	8	9.3	9.2	7.9	8.1
Na	29	34	26	16	24	32	29	41	62	7	9	10
NH4	0.01	0.03	0.13	0.18	0	0.01	0.02	0.22	0.62	0.09	0.03	0.07
NO2	0.13	0.01	0.03	0.01	0	0.02	0.1	0.01	0.02	0.19	0.1	0.07
NO3	1	3	2	1	3	0	0	0	1	4	0	1
O2dis	9.8	10.6	9	9.1	6.3	8	8.3	8.5	7.7	7.5	7.1	9.9
Ph	7.2	7.6	7.5	7.6	7.3	7.5	7.7	7.5	7.4	7.3	7.4	7.6
PO4	0.18	0.08	0.11	0.08	0.04	0.05	0.04	0.12	0.04	0.73	0.04	0.07
Rs105	574	680	500	528	602	578	534	572	890	252	278	348
saturat %	80.32	82.81	83.33	89.2	66.31	85.1	98.8	97.5	87.5	86.2	64.6	79.2
SO4	198	236	192	168	180	180	228	256	490	88	54	54
T	6.5	5	12	15	18	19	25	23	22	23	11	6

RESULTATS DU POMPAGE D'ESSAI AU REMILA

remila	ns,7,20	t/72	nd,33,20	d,30l/s	romente 24h		
decende							
temps	ND			temps	ND	tr	ND
0	7.2	840	29.75	3720	33.1	0	33.2
1	17.2	900	29.88	3780	33.15	1	21.9
2	17.9	960	29.98	3840	33.15	2	19.77
3	18.3	1020	30.1	3900	33.15	3	18.82
4	19.7	1080	30.15	3960	33.18	4	18.18
5	20.25	1140	30.25	4020	33.2	5	17.54
6	20.55	1200	30.32	4080	33.2	6	17.18
7	21	1260	30.46	4140	33.2	7	16.9
8	21.4	1320	30.54	4200	33.2	8	16.83
9	21.6	1380	30.67	4260	33.2	9	16.38
10	21.84	1440	30.78	4320	33.2	10	16.19
12	22.15	1500	30.9			14	15.82
14	22.48	1560	30.95			16	15.52
16	22.7	1620	31.05			18	15.25
18	22.94	1680	31.15			20	15.05
20	23.15	1740	31.18			25	14.45
24	23.5	1800	31.24			30	14.12
30	23.93	1860	31.3			35	13.76
35	24.2	1920	31.36			40	13.52
40	24.46	1980	31.42			50	13.06
45	24.7	2040	31.5			60	12.72
50	24.9	2100	31.58			70	12.55
55	25.1	2160	31.65			80	12.28
60	25.22	2220	31.7			90	11.98
70	25.54	2280	31.74			105	11.75
80	25.75	2340	31.8			120	11.62
90	25.95	2400	31.86			140	11.4
100	26.15	2460	31.92			360	10.15
110	26.35	2520	32			420	10
120	26.5	2580	32.05			480	9.95
135	26.7	2640	32.15			540	9.7
150	26.86	2700	32.15			600	9.55
165	27.05	2760	32.22			660	9.42

RESULTATS DU POMPAGE D'ESSAI AU EL HAMMA					
el hamma		48h	ns1,89	nd33,66	44l/s
		decend			romente 12h
TEMPS	ND	TEMPS	ND	TEMP	ND
0	1.89	840	36.1	0	36.66
5	26.3	900	36.29	5	3.21
10	29.5	960	36.36	10	2.9
15	31.2	1020	36.4	15	2.7
20	31.43	1080	36.42	20	2.6
25	31.8	1140	36.44	25	2.56
30	32	1200	36.46	30	2.54
35	32.2	1260	36.47	35	2.5
40	32.37	1320	36.48	40	2.47
45	32.5	1380	36.5	45	2.44
50	32.68	1440	36.51	50	2.42
55	32.8	1500	36.52	55	2.4
60	32.98	1560	36.54	60	2.38
70	33.19	1620	36.56	70	2.36
80	33.36	1680	36.57	80	2.34
90	33.49	1740	36.58	90	2.32
100	33.66	1800	36.59	100	2.3
110	33.83	1860	36.6	110	2.29
120	34.05	1920	36.61	120	2.28
135	34.23	1980	36.62	135	2.26
150	34.36	2040	36.63	150	2.24
165	34.5	2100	36.63	165	2.22
180	34.65	2160	36.64	180	2.21
200	34.77	2220	36.64	200	2.19
220	34.86	2280	36.64	220	2.18
240	34.98	2340	36.65	240	2.17
270	35.15	2400	36.65	270	2.15
300	35.23	2460	36.65	300	2.14
360	35.34	2520	36.66	360	2.11
420	35.46	2580	36.66	420	2.08
480	35.53	2640	36.66	480	2.06
540	35.68	2700	36.66	540	2.04
600	35.74	2760	36.66	600	2.02
660	35.88	2820	36.66	660	2
720	36	2880	36.66	720	1.9
780	36.1				

RESULTATS DU POMPAGE D'ESSAI AU KHEIRANE

Kheirane		72h	ns,11,6	nd,28,4	d,2,51
decende				romente	
temps	nd	temps	nd	temps	nd
5	11.6	2160	28.4	5	28
10	12.9	2220	28.4	10	28.5
15	13.4	2280	28.4	15	26.6
30	13.8	2340	28.4	30	24
45	14.3	2400	28.4	45	22.7
60	15.9	2460	28.4	60	18
90	16.3	2520	28.4	90	18.6
120	16.8	2580	28.4	120	15.9
180	17.2	2640	28.4	180	14.6
240	17.9	2700	28.4	240	13.5
300	18.2	2760	28.4	300	12.7
360	18.8	2820	28.4	360	11.6
420	19.1	2880	28.4		
480	19.6	2940	28.4		
540	20.2	3000	28.4		
600	20	3060	28.4		
660	21.3	3120	28.4		
720	21.8	3180	28.4		
780	22.2	3240	28.4		
840	23.7	3300	28.4		
900	24.1	3360	28.4		
960	25.8	3420	28.4		
1020	26.4	3480	28.4		
1080	27.9	3540	28.4		
1140	28.4	3600	28.4		
1200	28.4	3660	28.4		
1260	28.4	3720	28.4		
1320	28.4	3780	28.4		
1380	28.4	3840	28.4		
1440	28.4	3900	28.4		
1500	28.4	3960	28.4		
1560	28.4	4020	28.4		
1620	28.4	4080	28.4		
1680	28.4	4140	28.4		
1740	28.4	4200	28.4		
1800	28.4	4260	28.4		
1860	28.4	4320	28.4		

Précipitation de station de Babar

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
Code station : 061804													
Nom station : BABAR													
X : 901,1													
Y : 217													
Z : 1100													
1990	29.6	36.9	6.4	12	4	54.1	98.5	8.3	14.5	14.4	25	28.2	331.9
1991	68.1	47.6	9.7	9.9	6.5	42.9	48.8	14.7	15.3	27.4	27.2	29.8	347.9
1992	32.5	36.5	11.9	37.8	20.7	7.8	35.1	2.1	48.3	61.5	0	37.2	331.4
1993	0	0	25.2	51.8	0	0	0	0	10.9	52.4	56.5	89.5	286.3
1994	54.3	0	0	30.3	64.9	0	61.6	32.9	130.2	23.1	0	110.6	507.9
1995	112.3	20.5	61.8	22.1	23.7	17.1	45.8	38.4	18	26	16.6	0	402.3
1996	15.8	66.8	21.1	23.2	18.4	27.3	34.6	33.5	37.5	0	-999	19.1	
1997	29.9	21.3	20.9	12.3	8.5	51.8	36.7	12.1	39.4	1.4	7.7	11.5	253.5
1998	6	0	30.2	20.3	19	19.1	27.6	12.5	6.7	7.6	41.5	0	190.5
1999	63.5	41.2	9.4	4.4	44.5	0	36.1	26.3	5.4	5.7	69.3	22.2	328
2000	76.8	28.8	13.2	14.3	58.5	49.8	67.5	26.8	21.5	82.7	0	32.2	472.1
2001	17.3	0	15.7	8.3	9.5	9.6	26.8	30.3	0	0	48	17.7	183.2
2002	110.3	50.4	34.1	17.8	17.7	32.2	13	57.6	19.4	43.7	0	19.6	415.8
2003	14	19.1	9.5	5.9	48.5	4.5	3.5	0	10.2	6.5	23.2	19.5	164.4
2004	51.1	47.7	76.5	28.1	3.5	1	14.5	11.3	19.5	12	0	0	265.2
2005	18.5	32	4.3	17.2	5.1	5.6	0	4	30.8	2.1	8	2.1	129.7
2006	108.6	16.6	49.1	13.8	8.1	0.5	1.5	24	10.2	13.7	20.1	51.5	317.7
2007	4.9	42.5	61.5	18	77.7	43.5	18	60	17.7	49.6	8.6	12	414
2008	16.8	100.1	40.6	17	6.5	27.5	86	76	98	38	7.5	17	531
2009	19	20.5	64.5	106	3.5	93	46	18			42.5	38.5	
2010	70	57	64.5	12	40	14.5	3.5	37.5	49	14.5	9	20.5	392

Précipitation de station de Foug toub													
	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
Code station : 070406													
Nom station : FOUM TOUB													
X : 849,8													
Y : 241													
Z : 1160													
1990	72.1	28.5	13.4	18.6	32.2	10	101.1	37.6	25	3.5	10.5	9.5	362
1991	56.4	67.1	48.4	40.1	7.3	31.2	21.4	7.8	33.3	17.5	34.8	18.1	383.4
1992	15.5	22.5	25.9	32	12.3	17.8	11.9	16.1	33.9	71.5	-999	0	
1993	56	25.2	55.8	88.7	16.7	24.6	10.7	40.2	63.5	91.3	34.1	124.4	631.2
1994	59.9	15.4	21	33.5	228.2	0	54.8	81.3	102.3	6	9.5	71.3	683.2
1995	15.5	3.6	54.4	69.1	7	33.8	96.9	42.1	21.5	24.9	-999	6.1	
1996	53.5	69.3	19.1	26.5	38.1	51.4	103.1	36.6	88.1	9.2	39.3	19.1	553.3
1997	43.5	9.4	48.5	56.5	38.1	37.3	36.4	12.1	18.6	14.5	0	17.7	332.6
1998	21.3	41.9	24.4	83.9	42.5	27.7	41.5	23.9	7	14.5	42	18.2	388.8
1999	45.9	86.1	22	15.6	88.3	3	88	25.8	5.5	31.9	18.4	32.1	462.6
2000	62.1	19.2	5.2	30.2	148	111.1	97.8	67	25.8	39.9	19.5	15.4	641.2
2001	12.4	0	5.5	15.5	23.1	12.9	24.7	37.2	3.8	21.3	8	66	230.4
2002	88.7	27.3	64.4	60.3	7.2	22.8	49.2	91.4	92.5	20.5	0	26.6	550.9
2003	12.7	22.6	29.1	17.9	91.5	22.6	23.3	9.4	18.1	34.2	9.7	13.8	304.9
2004	23.3	23	97.8	139.7	14.6	8.2	9	2.7	70.7	31.7	1	62	483.7
2005	117.8	12.2	12.3	19.3	30	3.6	2.8	10	61.9	0	2.5	22.2	294.6
2006	73.6	7.7	27.8	15.8	9.2	12.7	13.9	50.8	17.7	17.5	7.1	20.3	274.1
2007	2.5	19.5	105.1	24.3	98.2	45.7	42.2	99.8	17.5	37.6	6.5	12.8	511.7
2008	60.9	88	20.9	51.4	43.2	36	88.9	38.2	162	81.5	10.5	29.2	710.7
2009	21.5	13.5	115.7	127.9	20.7	40.8	24.7	65.6	5.2	52.2	12.7	0	500.5
2010	33	16.8	36.5	52	73.1	48.9	7.4	61.5	193	52.9	24.2	11	610.3

précipitation de station de kheirane

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
Code station : 061805													
Nom station : KHEIRANE													
X : 870,55													
Y : 197,1													
Z : 560													
1990	25.6	41.6	10.7	1	17.8	3.9	69.6	66.4	1.8	5	3.5	3.2	250.1
1991	20.7	27.1	6.6	8.7	10.8	21.5	4.5	3.5	5.7	1.5	12.2	6.5	129.3
1992	12.3	14.5	30.9	22	3	5.7	7.5	6.6	14.4	36.6	0	9	162.5
1993	9.5	0	11.5	-999	0	6.5	8.8	8.3	1.8	45.4	1	24.8	
1994	18.8	2.2	19.7	7.6	97.8	0	18.3	42.8	111.8	0.9	2.3	59.4	381.6
1995	23.1	0	29.3	51.4	16.3	-999	13.2	5.4	2.8	2	2	0	
1996	23	21.3	19.3	21	19	12.5	35	19	63	22	-999	5.5	
1997	19	14.5	14.5	-999	2	49	8	4	23.5	3.5	0	0.5	
1998	7.5	1	29	11	2	9	41.5	1.5	0	0	0.5	0	103
1999	73.5	45.5	4	1.5	13	2.5	3.5	8	3	5	1	2	162.5
2000	66.8	29.3	11	27.5	19	44.5	52	32.4	6	5.3	1	0	294.8
2001	5.9	0	0	7.3	5.2	3	28.4	37.5	0	0.5	31	14.5	133.3
2002	32.7	24.5	27.9	6	1.5	13	2.9	32.5	1.1	31.1	0	1.3	174.5
2003	18	6.2	0.8	4.9	31.9	4.7	4.7	0.6	6	1.1	25.5	5.3	109.7
2004	28.9	30.7	62	33.5	0	0	8.7	10.9	40.1	9.2	0	0	224
2005	41.8	24.9	1.5	4.6	7	3.2	0	3.5	17.5	0	0	13.5	117.5
2006	60.3	-999	91.4	9.8	10	-999	0	19.6	3.5	0.5	0	10.5	
2007	9.5	4.9	101.8	4.8	62.5	36.3	5.5	27.5	1.6	35.8	0.5	0	290.7
2008	33.1	61.4	10.5	4	1	12	70.9	18.7	114.3	35.2	3.1	50.4	414.6
2009	47.6	11.7	55.3	10.3	0.5	3.5	1.5		1	6.5	0.5	0.5	
2010	18.5	0	3.5	1	13.3	11	0	13.7	29.1	24	2.5	15.3	131.9