

Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique

**Badji Mokhtar-Annaba University**  
**Université Badji Mokhtar-Annaba**



جامعة باجي مختار - عنابة

**Faculté des sciences de la terre**  
**Département de Géologie**

## **MEMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER

Option : Hydrogéologie

## **THEME**

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET EVALUATION  
DES RESSOURCES EN EAU DANS LA REGION  
AZZABA-GUERBES**

**Soutenue par : BOULEGHLEM Zineb**

(Ingénieur d'état en hydrogéologie)

**Directeur du mémoire : M<sup>r</sup>. SAAIDIA Bachir**

**M.C.U.B.M. Annaba**

Devant Le Jury

**Président :**

**M<sup>r</sup>. CHAAB Salah**

**M.C.U.B.M. Annaba**

**Examineurs :**

**M<sup>r</sup>. MAHIA Mohamed**

**M.C.U.B.M. Annaba**

**M<sup>r</sup>. BELOULOU Laroussi**

**M.C.U.B.M. Annaba**

**Année 2015**

# Remerciements

A la fin de ce travail je m'adresse mes sincères remerciements à mon bon Dieu le grand créateur qui me guidé dans mes pats pour arriver à ce niveau.

Il est temps pour moi d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui m'ont apporté aide et conseils durant la réalisation de ce travail en particulier :

Monsieur SAAIDIA Bachir pour m'avoir suivi et encadré efficacement pendant deux ans, et qui n'a pas hésité à me faire confiance, sa disponibilité de tous les jours et des nombreux et fructueux conseils ont fortement contribués à créer l'excellence conditions de travail.

Monsieur CHAAB Salah, maître de conférence, qui m'a fait l'honneur de présider le jury du mémoire.

Messieurs MAHIA Mohamed et, BELOULOU Laroussi, membres de jury, qui ont bien voulu accepter de juger ce travail.

Je tiens également à rappeler ici, l'aide que m'a opportunément apportée, au commencement de cette étude, messieurs ZUINI Derradji et CHOUABI Abdelmadjid.

Je tiens aussi à remercier tous les gens de la D.H.W et l'ONM de SKIKDA, l'A.N.R.H de Annaba, les subdivisions d'hydraulique et d'agriculture d'Azzaba, pour leur aide.

Les habitants d'Azzaba et de Guerbès qui m'ont facilité le travail de la piézométrie

Enfin, je tiens à saluer toute personne qui de près où de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.

# Résumé

Ce mémoire est consacré à l'inventaire et l'actualisation des ressources en eau superficielles et souterraines de la région Azzaba-Guerbès, il est établi d'une masse importante de données pour but principal l'évaluation des ressources exploitables en eaux destinées pour l'usage domestique, agricole et industriel.

La région Azzaba-Guerbès située en constantinois centre au Nord Est Algérien, est une région d'importance économique primordiale. En effet, on y trouve la superficie importante des terres agricoles, qui occupe la moitié de la surface de la région, un principal réservoir d'eau superficielle, le barrage de Zit Emba qui alimente la ville d'Azzaba en eau potable. On y trouve également la nappe aquifère de la vallée de l'oued El Kébir Ouest.

Par ailleurs, au cours de ces dernières années, du fait de l'accroissance démographique et d'un développement économique généralisé et surtout dans le domaine d'agriculture, cette région a connu un processus rapide et global de mobilisation de l'ensemble de ses ressources en eau. Il semble en effet nécessaire de réorienter l'agriculture irriguée et les techniques d'irrigation vers les productions et les méthodes les plus adaptées, en plus, de lutter contre toute sorte de gaspillage et de perte dans tous les réseaux et pour tous les usagers d'eau.

**Mots clés :** Azzaba-Guerbès, eaux souterraines et superficielles, qualité chimique des eaux, ressources en eau, besoins en eau.

## ملخص

يدور محتوى هذه المذكرة حول محور أساسي "التسيير المتكامل للموارد المائية في منطقة عزابة-

قرباز" ، حيث تقتصر هذه الدراسة على استغلال عدد كبير من المعطيات (الطبيعية الفيزيائية، جريان المياه السطحية، خصائص الجيوب المائية). من أجل تقييم حجم الموارد المائية الكامنة و كيفية استغلالها في مجالات الحياة كتزويد السكان بالماء الصالح للشرب، الإستعمال الزراعي و الإستعمال الصناعي.

منطقة عزابة- قرباز، تقع شمال شرق الجزائر، هي عبارة عن منطقة ذات أهمية كبيرة من الناحية الإقتصادية، حيث تتضمن مساحة زراعية معتبرة فهي تمثل نصف مساحة المنطقة، مع تواجد مصدر أساسي للمياه السطحية ألا و هو سد زيت العنبة بالإضافة إلى المياه الجوفية.

إلا أنه في السنوات الأخيرة و نظرا للنمو الديمغرافي و التطور الإقتصادي خاصة مجال الزراعة، هذه المنطقة عرفت حركية سريعة من أجل تعبئة جميع الموارد المائية المتواجدة بها، أصبح هناك شح في المياه يهدد المنطقة. في الواقع أصبح من الضروري الآن توجيه الفلاحة المسقية إلى منتوجات زراعية و طرق ري جديدة أقل إستهلاكاً للماء. بالإضافة إلى محاربة جميع أشكال التبذير في جميع شبكات توزيع المياه و في كل الإستعمالات.

**الكلمات المفتاحية :** عزابة - قرباز، مياه جوفية و سطحية، النوعية الكيميائية للمياه، ثروة مائية، الطلب على الماء

# Summary

This memory is devoted to the inventory and the actualization of the surface and underground water resources of the area of Azzaba-Guerbès; it is established of an important mass of data for principal goal which is the evaluation of the resources exploitable out of water intended for the domestic, agricultural and industrial use.

The region of Azzaba-Guerbès is located in the center of Constantine at the North of Algeria; it is a region of paramount economic importance. Indeed, we find there an important surface of the agricultural lands, which occupies half of the surface of the region, a principal surface water tank; dam of Zit Emba which feeds the town of Azzaba with drinking water. We also find there the water table of the valley of oued El Kébir Western.

In addition, during these last years and because of population growth and the generalized economic development, especially in the field of agriculture, this area knew a fast and total process of mobilization of its water resources. It seems indeed necessary to redirect the irrigated agriculture and Technical's irrigation towards the most adapted productions and methods, moreover, to fight against any kind of wasting and loss in all the networks and for all the water users.

**Keywords :** Azzaba-Guerbès, groundwater and surface, quality of water, water resources, water requirements.

# Table des matières

Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	IX
Abréviations et sigles.....	XI
Introduction générale.....	1

## **CHAPITRE I : Cadre général**

I.1.Situation géographique.....	5
I.2.Aperçu Socio-économique.....	6
I.3.Réseau hydrographique.....	6
I.4.Géomorphologie et relief.....	9
I.5.Climat et végétation.....	9

## **CHAPITRE II : Etude géologique**

II.1.Géologie régionale.....	11
II.2.Stratigraphie.....	11
II.2.1.Domaine interne.....	13
II.2.1.1.Le socle Kabyle (Paléozoïque).....	13
II.2.1.2.La chaine calcaire ou Dorsale Kabyle.....	13
II.2.2.Domaine externe.....	14
II.2.2.1.Les Flysch.....	14
II.2.2.1.1.Le Flysch Mauritanien.....	14
II.2.2.1.2.Le Flysch Massylien.....	14
II.2.2.2.Le Nummulitique II et l'Oligo-Miocène Kabyle (O.M.K).....	15
II.2.2.3.La série numidienne.....	15
II.2.2.4. les formations post-nappe et les affleurements.....	15
II.2.2.5. Le Quaternaire.....	15
II.3.Tectonique.....	17
II.4.Conclusion.....	18

## **CHAPITRE III : Hydro climatologie**

II.1.Les facteurs climatiques.....	20
II.1.1.Analyse des précipitations.....	20
II.1.1.1.Coefficient pluviométriques (CP).....	20

II.1.1.2. Variations des précipitations dans le temps.....	23
II.1.1.2.1. Variations moyennes annuelles des précipitations.....	23
II.1.1.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations.....	24
II.1.1.2.3. Variations moyennes saisonnières des précipitations.....	25
II.1.2. Analyse des températures.....	27
II.1.2.1. Variations moyennes mensuelles des températures.....	27
II.1.3. Diagramme Ombro-thermique.....	28
II.1.4. L'humidité relative.....	30
II.1.5. Le vent.....	31
II.1.6. Caractéristiques climatiques d'aridité.....	31
II.2. Le bilan hydrique.....	32
II.2.1. Estimation des paramètres du bilan.....	32
II.2.1.1. L'évapotranspiration.....	32
II.2.1.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	32
II.2.1.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	33
II.2.1.2. Le ruissellement.....	34
II.2.1.3. L'infiltration.....	35
II.2.2. Représentation graphique du bilan hydrique.....	35
III.2.3. Interprétation du bilan hydrique.....	39
II.3. Conclusion.....	40

#### **CHAPITRE IV : Etude hydrogéologique**

IV. Identification des systèmes aquifères.....	42
IV.1. Le système aquifère de la plaine d'Azzaba.....	42
IV.1.1. Aperçue sur la plaine d'Azzaba.....	42
IV.1.2. Identification des formations hydrogéologiques.....	42
IV.1.2.1. Horizon aquifère des dépôts alluvionnaires récents.....	42
IV.1.2.2. Horizon aquifère des dépôts de l'Oligocène.....	43
IV.1.2.3. Horizon aquifère du Paléocène-Eocène.....	43
IV.1.3. Piézométrie.....	46
IV.1.3.1. Inventaire des points d'eau.....	46
IV.1.3.2. Cartes piézométriques.....	47

IV.1.3.3. Interprétation des cartes piézométriques.....	50
IV.1.4. Caractéristiques hydrodynamiques.....	50
IV.1.4.1. Résultats des travaux des essais de pompage dans le complexe aquifère de l'Oligocène.....	50
IV.1.4.2. Résultats des travaux des essais de pompage dans le Complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène.....	51
IV.2. Le système aquifère de la plaine de Guerbès.....	52
IV.2.1. Aperçu sur la plaine de Guerbès.....	52
IV.2.2. Identification des formations hydrogéologiques.....	52
IV.2.3. Piézométrie.....	54
IV.2.3.1. Inventaire des points d'eau.....	54
IV.2.3.2. Cartes piézométriques.....	54
IV.2.3.3. Interprétation des cartes piézométriques.....	56
IV.2.4. Caractéristiques hydrodynamiques.....	57
IV.3. Conclusion.....	58

## **CHAPITRE V : Aperçu hydro chimique**

V.1. Le chimisme et la qualité des eaux dans la région Azzaba-Guerbès.....	61
V.1.1. Qualité des eaux superficielles (oueds).....	62
V.1.1.1. Oued Kébir Ouest (région de Guerbès).....	62
V.1.1.1.1. Evolution des éléments chimiques dans les eaux d'oued Kebir Ouest.....	62
V.1.1.1.2. Evolution annuelle des sels minéraux dans les eaux d'oued Kebir Ouest.....	64
V.1.1.1.3. Evolution annuelle des particules en suspension dans les eaux d'oued Kebir Ouest.....	65
V.1.1.2. Oued Fendek (région d'Azzaba).....	66
V.1.1.2.1. Formule ionique et faciès chimique.....	66
V.1.1.3. Diagramme de Wilcox.....	66
V.1.1.4. Le risque de la salinité.....	68
V.1.2. Qualité des eaux souterraines.....	70
V.1.2.1. Qualité des eaux souterraine dans la région d'Azzaba.....	70
V.1.2.1.1. Formule ionique et faciès chimique.....	70
V.1.2.1.2. Représentation graphique des analyses chimiques.....	71
V.1.2.1.3. Normes et qualités des eaux.....	73
V.1.2.1.3.1. Chlorures.....	73

V.1.2.1.3.2.Magnésium.....	73
V.1.2.1.3.3.Dureté totale (TH).....	74
V.1.2.1.3.4.Conductivité électrique.....	74
V.1.2.1.3.5.Résidu sec.....	75
V.1.2.1.3.6. Teneurs en micropolluants métalliques.....	76
V.1.2.1.3.Diagramme de Wilcox.....	77
V.1.2.2.Qualité des eaux souterraine dans la région de Guerbès.....	80
V.1.2.2.1.Faciès chimique.....	80
V.1.2.2.2.Qualité de l'eau.....	82
V.1.2.2.3.Aptitude des eaux à l'irrigation.....	85
V.2.Conclusion.....	88

## **CHAPITRE VI : Evaluation des ressources en eau**

VI.1.Ressources en eau dans la région Azzaba-Guerbès.....	90
VI.1.1.Ressources en eau de surface.....	90
VI.1.1.1.Les oueds.....	90
VI.1.1.2.Le barrage de Zit Emba.....	90
VI.1.1.3.Les retenues collinaires.....	91
VI.1.2.Ressources en eau souterraines.....	92
VI.1.2.1.Les forages.....	93
VI.1.2.2.Les puits.....	93
VI.1.2.3.Les sources.....	94
VI.2.Mobilisation des ressources en eau dans la région Azzaba-Guerbès.....	94
VI.2.1.Mobilisation des ressources en eau dans la région d'Azzaba.....	94
VI.2.1.1.Mobilisation des eaux de surface.....	94
VI.2.1.2.Mobilisation des eaux souterraines.....	95
VI.2.2.Usagers de l'eau dans la région d'Azzaba.....	96
VI.2.2.1.La population.....	96
VI.2.2.1.1.Répartition de la population.....	96
VI.2.2.1.2.L'évolution de la population.....	97
VI.2.2.2.L'agriculture.....	98
VI.2.2.3.L'industrie.....	99

VI.2.3.Projection des besoins en eau dans la région d’Azzaba.....	99
VI.2.3.1.Evolution des besoins en eau à usage domestique (AEP).....	99
VI.2.3.2.Evolution des besoins en eau pour l’agriculture (AEA).....	101
VI.2.3.3.Evolution des Besoins en eau de l’industrie (AEI).....	102
VI.2.3.4.Evolution des besoins totaux en eau.....	103
VI.2.2.Mobilisation des ressources en eau dans la région de Guerbès.....	104
VI.2.2.1.Mobilisation des eaux de surface.....	104
VI.2.2.2.Mobilisation des eaux souterraines.....	104
VI.2.3.Usagers de l’eau dans la région de Guerbès.....	105
VI.2.3.1.La population.....	105
VI.2.3.1.1.Répartition de la population.....	105
VI.2.3.1.2.L’évolution de la population.....	105
VI.2.3.2.L’agriculture.....	106
VI.2.4.Projection des besoins en eau dans la région de Guerbès.....	107
VI.2.4.1.Evolution des besoins en eau à usage domestique (AEP).....	107
VI.2.4.2.Evolution des besoins en eau pour l’agriculture (AEA).....	108
VI.2.4.3.Evolution des besoins totaux en eau.....	109
VI.3.Conclusion.....	110
Conclusion générale et recommandations.....	111
Bibliographie.....	115
Annexe.....	118

# Liste des figures

Figure 1 : Carte de situation géographique.....	5
Figure 2 : Bassin versant des côtiers constantinois centre.....	7
Figure 3 : Carte du réseau hydrographique.....	8
Figure 4 : Carte géologique de la région d'étude (d'après J.M.Villa 1980).....	12
Figure 5 : Log stratigraphique de la zone mercurielle Nord Numidique.....	16
Figure 6 : Variations des coefficients pluviométriques pour les trois stations Azzaba, Ain Charchar et Skikda.....	22
Figure 7 : Variations moyennes annuelles des précipitations aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda.....	23
Figure 8 : Variations moyennes mensuelles des précipitations aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda.....	25
Figure 9 : Variations moyennes saisonnières des précipitations aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda.....	26
Figure 10 : Variations moyennes mensuelles des températures en (°C) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).....	27
Figure 11 : Diagramme ombro-thermique de la station d'Azzaba.....	28
Figure 12 : Diagramme ombro-thermique de la station de Ain Charchar.....	29
Figure 13 : Diagramme ombro-thermique de la station de Skikda.....	29
Figure 14 : Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite pour la station d'Azzaba (1980/1981-2010/2011).....	38
Figure 15 : Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite pour la station d'Ain Charchar (1980/1981-2012/2013).....	38
Figure 16 : Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite pour la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).....	39
Figure 17 : Coupe hydrogéologique II-II dans la zone mercurielle Nord Numidique (d'après Benhamza.M 2007).....	44
Figure 18 : Coupe hydrogéologique III-III dans la zone mercurielle Nord Numidique (d'après Benhamza.M 2007).....	44
Figure 19 : Carte d'inventaire des points d'eau dans la plaine d'Azzaba.....	46
Figure 20 : Carte piézométrique Septembre 2014.....	48
Figure 21 : Carte piézométrique Mars 2015.....	49
Figure 22 : Carte de situation de profil (Hadj-Said.S 2007).....	53

Figure 23 : Coupes hydrogéologiques des aquifères de Guerbès (Hadj-Said.S 2007).....	53
Figure 24 : Carte d’inventaire des points d’eau.....	54
Figure 25 : Carte piézométrique Septembre 2014.....	55
Figure 26 : Carte piézométrique Mars 2015.....	56
Figure 27 : Courbe interprétative d’essais de pompage du forage G2 (descente) par la méthode de JACOB (d’après Hadj-Said.S 2007).....	58
Figure 28: Variations des concentrations (en mg/l) de quelques éléments en relation avec la qualité des eaux de l’oued Kébir Ouest, dans le temps.....	63
Figure 29 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Wilcox.....	69
Figure 30 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper.....	72
Figure 31 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Wilcox.....	79
Figure 32 : Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du massif dunaire de Guerbès sur de Diagramme de Piper (d’après Ben Rabah.S 2006).....	81
Figure 33 : Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du massif dunaire de Guerbès sur le Diagramme de Scholler-Berkalof (d’après Ben Rabah.S 2006)....	81
Figure 34 : Carte des sulfates (Avril 2002) (d’après Ben Rabah.S 2006).....	83
Figure 35 : Carte des chlorures (Avril 2002) (d’après Ben Rabah.S 2006).....	83
Figure 36 : Carte de l’indice de contamination des eaux souterraines par les nitrates, les sulfates et les chlorures (2004) (d’après Ben Rabah.S 2006).....	84
Figure 37 : Diagramme de classification des eaux d’irrigation en fonction du S.A.R.....	86
Figure 38 : Courbe de variation mensuelle des prélèvements en eau (AEP) du barrage de Zit Emba (2014).....	91
Figure 39 : La capacité des retenues collinaires.....	92
Figure 40 : Répartition des prélèvements par type d’eau et par usager.....	96
Figure 41 : Répartition spatiale de la population de la commune d’Azzaba.....	97
Figure 42 : Evolution de la population de la commune d’Azzaba.....	98
Figure 43 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm <sup>3</sup> dans la région d’Azzaba.....	101
Figure 44 : Evolution dans le temps de la demande en eau pour l’agriculture (2014-2030) dans la commune d’Azzaba.....	102
Figure 45 : Evolution des besoins totaux en eau dans la commune d’Azzaba.....	103
Figure 46 : Répartition des prélèvements par type d’eau et par usager.....	105
Figure 47 : Evolution de la population de la région de Guerbès.....	106

Figure 48 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm <sup>3</sup> dans la région de Guerbès.....	108
Figure 49 : Evolution dans le temps de la demande en eau pour l'agriculture (2014-2030) dans la région de Guerbès.....	109
Figure 50 : Evolution des besoins totaux en eau dans la région de Guerbès.....	109

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques.....	20
Tableau 2 : Précipitations moyennes annuelles en (mm) et coefficients pluviométriques (CP) des stations Azzaba, Ain charchar et Skikda (1980/1981-2012/2013).....	21
Tableau 3 : Précipitations annuelles et leurs variabilités.....	23
Tableau 4 : Variations moyennes mensuelles des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda.....	24
Tableau 5 : Répartition saisonnière des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda.....	26
Tableau 6 : Variations moyennes mensuelles des températures en (°C) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).....	27
Tableau 7 : Humidités relatives moyennes mensuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).....	30
Tableau 8 : Humidités relatives moyennes annuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).....	30
Tableau 9 : La vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).....	31
Tableau 10 : Indice d'aridité annuelle d'après la formule DE.MARTONNE.....	32
Tableau 11 : Déterminations des paramètres de l'évapotranspiration réelle.....	33
Tableau 12 : Détermination des paramètres de ruissellement.....	34
Tableau 13 : Détermination des paramètres de la formule du bilan hydrique.....	35
Tableau 14 : Bilan hydrique pour la station d'Azzaba d'après la méthode de C.W. Thornthwaite.....	36
Tableau 15 : Bilan hydrique pour la station d'Ain Charchar d'après la méthode de C.W. Thornthwaite.....	36
Tableau 16 : Bilan hydrique pour la station de Skikda d'après la méthode de C.W. Thornthwaite.....	37
Tableau 17 : Résultats des essais de pompage obtenus par la méthode de Jacob (d'après Hadj-Said.S 2007).....	58
Tableau 18 : Grille de qualité des eaux superficielles et leurs indices.....	64
Tableau 19 : Formule ionique et faciès chimique des eaux d'oued Fendek.....	66
Tableau 20 : Classification des eaux par leur degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode	

du S.A.R.....	67
Tableau 21 : Formules ioniques et faciès chimiques.....	71
Tableau 22 : Zonalité et norme pour les chlorures.....	73
Tableau 23 : Zonalité et norme pour le magnésium.....	73
Tableau 24 : Zonalités et normes pour la dureté totale.....	74
Tableau 25 : Zonalités et normes pour la dureté totale.....	75
Tableau 26 : Zonalités et normes du résidu sec.....	75
Tableau 27 : Classification des eaux par leur degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R.....	77
Tableau 28 : Classification des puits d'après Wilcox.....	78
Tableau 29 : Prélèvements mensuels en eau (en Hm <sup>3</sup> ) du barrage de Zit Emba (2014).....	91
Tableau 30 : Inventaire des retenues collinaires dans la région Azzaba-Guerbès.....	92
Tableau 31 : Récapitulatif des ressources en eau mobilisables dans la zone d'étude.....	94
Tableau 32 : Dotation mensuelle en eau (Hm <sup>3</sup> ) de la ville d'Azzaba.....	94
Tableau 33 : Usagers de l'eau et type de prélèvement dans la région d'Azzaba.....	95
Tableau 34 : La population de la commune d'Azzaba.....	97
Tableau 35 : Evolution de la population de la commune d'Azzaba.....	98
Tableau 36 : superficie irriguée dans la région d'Azzaba (compagne 2014).....	99
Tableau 37 : répartition de la superficie irriguée par types de cultures.....	99
Tableau 38 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm <sup>3</sup> dans la région d'Azzaba selon type de population.....	100
Tableau 39 : Evolution des besoins en eau pour l'agriculture (2014-2030).....	102
Tableau 40 : Evolution des besoins en eau de l'industrie.....	103
Tableau 41 : Evolution des besoins en eau dans la région d'Azzaba.....	103
Tableau 42 : Usagers de l'eau et type de prélèvement dans la région de Guerbès.....	104
Tableau 43 : Evolution de la population de la région de Guerbès.....	106
Tableau 44 : superficie irriguée dans la région de Guerbès (compagne 2014).....	106
Tableau 45 : Répartition de la superficie irriguée par types de cultures.....	107
Tableau 46 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm <sup>3</sup> dans la région de Guebès.....	107
Tableau 47 : Evolution des besoins en eau pour l'agriculture (2014-2030).....	108
Tableau 48 : Evolution des besoins en eau dans la région de Guerbès.....	109

## Abréviations et sigles

<b>ADE</b>	: Algérienne des Eaux
<b>AEP</b>	: Alimentation en Eau Potable
<b>AEA</b>	: Alimentation en Eau Agricole
<b>AEI</b>	: Alimentation en Eau Industrielle
<b>ANRH</b>	: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
<b>APC</b>	: Assemblée Populaire Communale
<b>DHW</b>	: Direction de l'Hydraulique de Wilaya
<b>DSA</b>	: Direction des Services Agricoles
<b>ENIP</b>	: Entreprise Nationale de l'Industrie Pétrolière
<b>FNRDA</b>	: Fond Nationale de Régulation pour le Développement Agricole
<b>ha</b>	: Hectare
<b>Hm<sup>3</sup></b>	: Hecto Mètre Cube
<b>m<sup>3</sup></b>	: Mètre Cube
<b>ONM</b>	: Office Nationale de la Météorologie
<b>PMH</b>	: Petite et Moyenne Hydraulique
<b>PDAU</b>	: Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
<b>POS</b>	: Plan d'Occupation du Sol
<b>RGPH</b>	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat

# INTRODUCTION

## Générale

---

*L'eau présente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socioéconomique. L'eau est donc une ressource précieuse, d'autant plus qu'elle n'est pas uniformément répartie. Plusieurs pays sont menacés de pénurie d'eau potable et des milliers de personnes n'ont pas toujours accès à cette dernière. Préserver la ressource en eau et proposer un accès durable aux services d'eau et d'assainissement sont donc des enjeux majeurs pour la planète.*

Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie du Nord d'une manière générale.

La situation hydrique en Algérie impose la nécessité d'une gestion prudente de cette précieuse et rare ressource qui ne cesse de croître en importance sous le double effet de la croissance démographique et de l'augmentation des besoins par habitant. Il est donc nécessaire d'évaluer les disponibilités en eau mobilisable, ce que traite la présente étude, pour voir les possibilités de leur utilisation rationnelle.

Donc Notre travail est consacré à l'inventaire et l'actualisation des ressources en eaux superficielles et souterraines dans la région Azzaba-Guerbès. Il est établi d'une masse importante de données pour but principal l'évaluation des ressources exploitables en eaux destinées pour l'usage domestique, agricole et industriel.

Pour plus de clarté dans la présentation de ce mémoire, nous l'avons scindé en six grands chapitres suivants :

Le **premier chapitre** présente une vue générale sur la zone d'étude. Il est divisé en cinq titres :

- Situation géographique
- Aperçu Socio-économique
- Réseau hydrographique
- Géomorphologie et relief
- Climat et végétation

Le **deuxième chapitre** est consacré à l'étude du contexte géologique et structural de la région, basée essentiellement sur les travaux effectués par J.M Vila. Il est divisé en trois titres :

- Géologie régionale
- Stratigraphie
- Tectonique

Le **troisième chapitre** a pour but d'évaluer à l'aide d'une étude hydro climatologique les différents termes du bilan hydrique, en s'appuyant essentiellement sur les relevés pluviométriques et de températures. Il est divisé en deux titres :

- Les facteurs climatiques
- Le bilan hydrique

Le **quatrième chapitre** est consacré à l'hydrogéologie. A partir des données dont nous disposons, nous avons essayé de délimiter les aquifères (coupes hydrogéologiques, mesures piézométriques) et de déterminer le sens d'écoulement et la zone d'accumulation. Il est divisé en deux titres :

- Le système aquifère de la plaine d'Azzaba
- Le système aquifère de la plaine de Guerbès

Le **cinquième chapitre** est consacré à l'évaluation qualitative des ressources en eau à partir de l'interprétation des résultats d'analyses chimiques, pour une meilleure identification des faciès chimiques et une meilleure vision de la qualité des eaux souterraines et de surface. Il est divisé en deux titres :

- Qualité des eaux superficielles (oueds)
- Qualité des eaux souterraines

Le **sixième chapitre** ou on procède à l'identification des différentes ressources en eaux souterraines et superficielles existantes dans la zone d'étude, en évaluant leur mobilisation actuelle, utilisateurs (A.E.P, A.E.A, A.E.I), ce qui permettra de faire ressortir les insuffisances de la répartition actuelle des ressources. Il est divisé en deux titres :

- Ressources en eau dans la région Azzaba-Guerbès
- Mobilisation des ressources en eau dans la région Azzaba-Guerbès

En fin, Ce travail sera achevé par des conclusions générales et une série de recommandations proposées à la lumière de l'étude réalisée ainsi qu'aux problèmes rencontrés.

# CHAPITRE

# I

## Cadre général

---

*Administrativement la région Azzaba-Guerbès fait partie de la wilaya de Skikda (Nord-Est Algérien), elle appartient au bassin versant côtier constantinois centre (5582 Km<sup>2</sup> de superficie).*

### I.1. Situation géographique :

Le territoire de notre étude englobe essentiellement la plaine d'Azzaba et la plaine de Guerbès qui ont été séparées par les massifs calcaires de Djebel Safia.

❖ La plaine d'Azzaba est entourée de montagnes avec des côtes absolues de 300 à 500 m :

Au Nord-Est : Djebel Grebissa et Djebel El Oust,

Au Nord-Ouest : Djebel Kef Serrak et Djebel Boufernana,

Au Sud : Djebel Ferfour, Djebel Siafa, Djebel Ousfane et Maksem,

Au Sud-Est : Kodiet Mra Sma à la limite de la commune de Ain Charchar,

Au Sud-Ouest : Djebel Demnchaba et Djebel Mekdoua.

❖ La plaine de Guerbès fait partie du bassin versant de l'Oued el Kébir Ouest, elle est entourée par l'Edough-Cap de Fer au Nord Nord-Est, les massifs montagneux de Filfila-Safia au Sud-Ouest et les reliefs de Bou Maaiza et Berrahal au Sud-Est, la limite Nord est occupée par la Méditerranée.

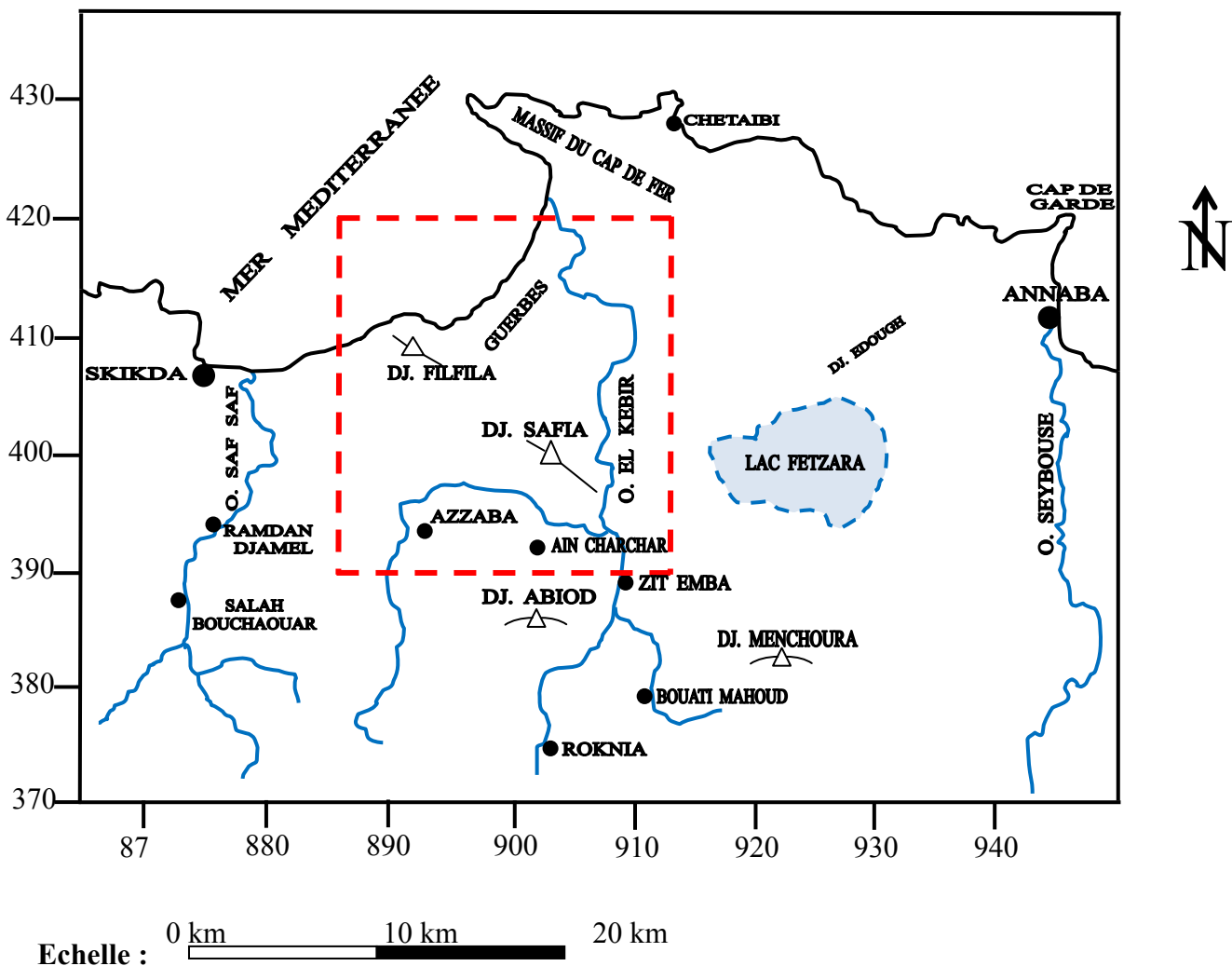


Figure 1 : Carte de situation géographique

## **I.2.Aperçu Socio-économique :**

L'agriculture et l'élevage sont les occupations essentielles de la population de notre région. L'industrie est de moindre importance par rapport aux secteurs précédents.

Sur le plan minier, la région d'Azzaba se distingue par la zone mercurielle Nord-Numidique regroupant les gisements minier mercuro-polymétalliques répartis en champ à savoir : le champ de Ras-Elma, Ghenicha, Ismail et Fendek.

Sur le plan géologique, les calcaires du crétacé sont développés, ils servent comme matière première pour la cimenterie de Hadjar-Essoud situé à une vingtaine de kilomètre à l'Est d'Azzaba.

La zone de Guerbès est considérée parmi les zones humides du monde, à cause d'une flore et faune remarquable (la plaine est le site de nidification des espèces des oiseaux très rare et 234 espèces végétales ont été recensées au niveau du lac). C'est très intéressant pour le côté touristique de la région.

Dans le milieu rural, certaines maisons sont dispersées, d'autres sont groupées en hameaux. Ceux-ci ont souvent tendance à former de petites agglomérations à caractère urbain.

## **I.3.Réseau hydrographique :**

Le réseau hydrographique est assez dense, les principaux cours d'eau sont :

**Oued Fendek** : prend naissance dans les contreforts septentrionaux de la chaîne numidique,

**Oued Radjeta** : qui constitue le principal exutoire du bassin d'Azzaba,

**Oued Adjoul** : le collecteur de plusieurs petits oueds et s'écoule vers le Nord-Est.

**Oued El Kébir** : qui draine la zone de Guerbès prend naissance au Sud dans la région d'Azzaba à la suite de la confluence des Oueds Emchekel et Hammam, il poursuit son parcours vers le nord et contourne les dunes pour rejoindre la mer méditerranée.

Ces oueds sont :

- Permanents au cours de l'année
- Caractérisés pendant les périodes sèches par des minces filets d'eau alors que lors des saisons pluvieuses ils sont inondés.





Figure 2 : Carte du réseau hydrographique

#### **I.4.Géomorphologie et relief :**

Le tell oriental Algérien est caractérisé en général par une morphologie complexe à cause de la tectonique qui affecte la région. Comme notre terrain appartient de ce tell, il est caractérisé par une morphologie variable.

- La dépression d'Azzaba est une plaine peu ravinée, elle se situe dans la zone mercurielle Nord Numidique.
- Des reliefs de pente moyenne en général à sommets arrondis, à l'exception des affleurements calcaires (Djebel Safia et Koudiets Embarek) qui donne des pentes plus raides et escarpées.
- Les terrasses dans la région d'Azzaba constituées de Quaternaire (agrégat, argile, sable), les hautes et moyennes terrasses sont constituées des terrains humides avec la présence d'une couche des eaux souterraines et supporter les glissements de terrain et l'érosion, alors que les basses terrasses ont été connues par le problème des inondations et de creusement des bordures, ces terrasses limoneux-argileux (galet lisse et galet grossier) constituent les terres irriguées par l'eau turbide (PDAU de la commune d'Azzaba).
- La région de Guerbès présente deux types de paysages. Près du littoral, un gros cordon dunaire haut de près de 110 m se prolongeant vers l'intérieur par une série de dunes plus ou moins hautes et couverte par une forêt de chêne-liège. Au Sud-Est, la plaine, haute de 9 à 12 m le long de l'Oued el Kébir présente sur ses bordures des étangs marécageux (Hadj-Said.S 2007).

#### **I.5.Climat et végétation :**

Vu sa proximité de la mer méditerranéenne la zone de Azzaba-Guerbès est caractérisée par un climat tempéré : hiver doux et humide, et été chaud et sec.

Ces conditions climatiques imposent le développement d'une végétation typique dans la région. On trouve surtout des cultures maraîchères et la céréaliculture ainsi que des orangeries et des vignes, les montagnes sont couvertes de maquis et des chaînes lièges.

# CHAPITRE

# II

## Etude géologique

---

*L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique. Cette analyse permet d'identifier les matériaux et les structures des formations susceptibles de conduire et d'emmagasiner l'eau des précipitations en profondeur, tout en permettant la détermination du type d'aquifère.*

## **II.1.Géologie régionale :**

Les études réalisées dans la région par M.Raoult 1974, M.Durand Delga 1969, J.P.Bouillin 1977, J.M.Vila 1981 et al, montre que notre terrain fait partie de la petite Kabylie, cette dernière fait partie de l'ensemble géologique de l'Atlas tellien. Cette zone est caractérisée par sa complexité lithologique et structurale et appartient à la zone septentrionale de l'orogène littorale Nord Africain (Figure 4).

## **II.2.Stratigraphie :**

Le tell Algérien n'est qu'une partie de l'Atlas Tellien, il s'agit d'une morphologie typiquement méditerranéenne. Les travaux des géologues dans l'Est, ont permis de mettre en évidence du point de vue structural, du Nord au Sud les domaines suivants :

- ❖ Le domaine des massifs primaires Kabyles,
- ❖ Le domaine Tellien,
- ❖ Le domaine de l'atlas Saharien,
- ❖ Le domaine de la plate forme Saharienne.

Les principales unités structurales du Nord au Sud qui caractérisent notre terrain sont :

- ❖ Le domaine interne qui correspond au socle Kabyle et à la dorsale calcaire,
- ❖ Le domaine médian qui correspond aux Flysch,
- ❖ Le domaine externe qui correspond aux séries Telliennes.

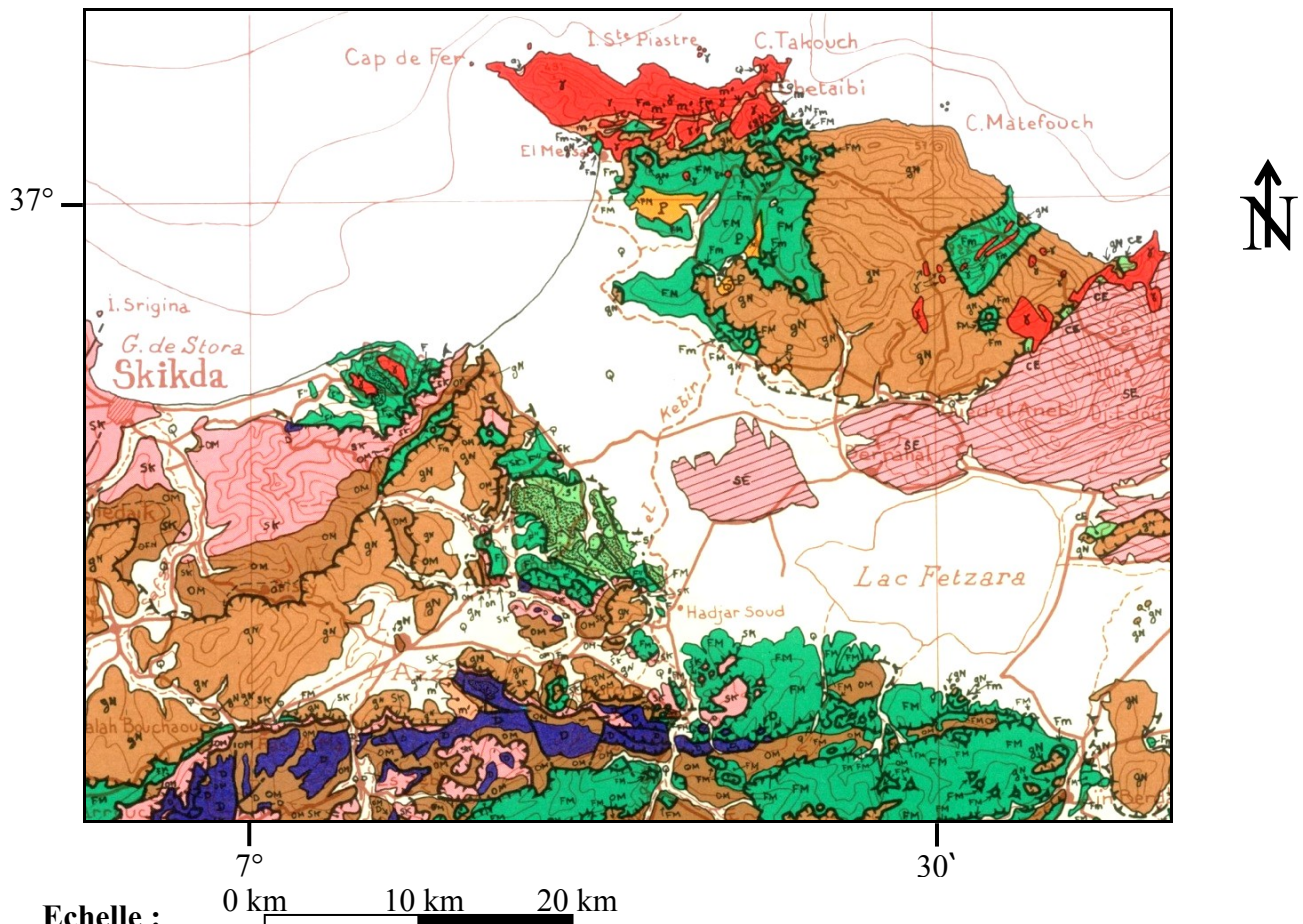












Figure 4 : Carte géologique de la région d'étude (d'après J.M.Vila 1980)

Légende :

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>ROCHES ERUPTIVES RECENTES</b></p> <p> Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.</p> <p><b>SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE</b></p> <p> Oligo-Miocène Kabyle, olistostromes à flyschs résédimentés (y compris le Numédien) et flyschs en position nord-kabyle (F').</p> <p> CHAÎNE CALCAIRE : Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones internes, médiane et externe.</p> <p> SK-Socle métamorphique de petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres.</p> <p><b>NAPPES TELLIENNES</b><br/>NAPPES TELLIENNES S.S.</p> <p> T. UNITES TELLIENNES NON DIFFERENCIÉES PARFOIS RÉDUITES À LEUR ÉOÈNE DE COLLE.</p> <p><b>TRIAS EXOTIQUE OU EXTRUSIF</b></p> <p> Argiles, gypses broyés et glaçons calcaro-dolomitiques.</p> | <p><b>NAPPE NUMIDIENNE</b></p> <p> Grès numédiens et séries mixtes.</p> <p><b>ROCHES RECENTES ET CYCLES POSTERIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR.</b></p> <p> Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).</p> <p> Pliocène marin des zones côtières.</p> <p><b>NAPPES DE FLYSCHS KABYLIES.</b><br/>FLYSCHS MAURETANIENS</p> <p> Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Taleb, de la Robertseau (Souk es Sebt) et de la Marsa. Séries médianes de Guerrouch, d'El Kam, de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn Berda (Penthièvre) Séries externes (ex-"Medjan") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mezzouch et de Ziane.</p> |
|---|--|

## **II.2.1. Domaine interne :**

### **II.2.1.1. Le socle Kabyle (Paléozoïque) :**

Les formations paléozoïques servent de substratum à la chaîne calcaire et la zone minéralisée. Le socle Kabyle est constitué de plusieurs ensembles superposés qui sont :

- L'ensemble supérieur, formé des schistes satinés ou phyllades ayant subi un métamorphisme de basse pression avec une zone inférieure à biotite et une zone inférieure à chlorite. Ce métamorphisme pourrait être Tardi-Cadomien ou Néo-Calédonien. Des grès localement, des porphyroïdes œillés (roches éruptives acides très étirées) et des carbonates apparaissent vers la base de cette formation avec des granites écrasées.
- L'ensemble inférieur, comporte des gneiss. Des intercalations de quartzites et de marbres localement puissants et parfois des amphibolites.
- Un ensemble sédimentaire Paléozoïque débutant au Cambrien atteignant le carbonifère.
- Un ensemble cristallin profond appartenant au faciès des granulites. Durant tout le secondaire et jusqu'à l'Oligocène terminal. En effet, les dépôts de « l'Oligo-Miocène-Kabyle » reposent directement sur le socle (M. Durant Delga 1969 et J.F. Raoult 1974).

### **II.2.1.2. La chaîne calcaire ou Dorsale Kabyle :**

Comme son nom l'indique, la dorsale Kabyle est constituée essentiellement de formations carbonatées dont la datation s'étend du Lias inférieur au Lutétien. L'étude de la chaîne calcaire du tell oriental Algérien a été menée par (J.F. Raoult 1974 et J.M. Vila 1980).

Pour chacune de ces zones, les faciès et l'épaisseur des calcaires sont différents, ceux-ci jouent un rôle important du point de vue géomorphologique et hydrogéologique, l'évolution karstique et périglaciaire est donc différente.

Les trois zones sont :

- Au Nord, la Dorsale interne reste émergée jusqu'aux Paléozoïques puis à partir de l'Eocène s'y déposent des calcaires néritiques massifs à riches microfaunes benthiques (Nummulites, Alviolines, Orthophragmines etc...). Cette sédimentation atteint le sommet du Lutétien (J.F. Raoult 1974).
- La Dorsale médiane (Djebel Bou Abid) montre une sédimentation marno-calcaire à microfaunes pélagiques permettant de dater le Crétacé supérieur, le Paléocène et l'Eocène

jusqu'au Lutétien. Durant le Lutétien supérieur apparaissent des Nummulites dans des niveaux très minces (0,5 m) intercalés dans des marnes.

- Au Sud, la Dorsale externe ou la situation est plus complexe. On peut distinguer des séries relativement internes, Koudiets Aissa et Méra (J.F.Raoult 1974) ou la sédimentation détritique grossière débute pendant le Paléocène et les séries plus externes proche du bassin des flysch dont la sédimentation comparable débute dès le Crétacé supérieur. Cette sédimentation qui résulte en partie de la destruction des zones émergées de la Dorsale s'effectue sur les pentes d'un talus mobile, frontière entre la Dorsale et le bassin des flysch.
- Enfin J.F.Raoult a montré (1968, 1969) sur la transversale de Skikda-Constantine que la Dorsale a été le lieu d'une tectonique tangentielle à vergence Sud à partir de la fin du Lutétien.

## **II.2.2.Domaine externe :**

### **II.2.2.1.Les Flysch :**

#### **II.2.2.1.1.Le Flysch Mauritanien :**

Le terme Mauritanien a été proposé pour une série allant du Malm au Lutétien supérieur et présentant partout des dépôts du nummulitique I à l'inverse du flysch Massylien.

Ce flysch débute par le type Guerrouch (Crétacé inférieur) et se poursuit par le flysch Sénonien à nummulitique (flysch de Penthièvre, J.M.Vila 1967) dans la partie orientale de la Dorsale.

#### **II.2.2.1.2.Le Flysch Massylien :**

Il est représenté par le flysch Albo-Aptien, argilo-quartzitique des niveaux du Vraconien au Turonien inférieur, montrant soit des phtanites, soit des brèches du Sénonien marno-microbréchiq (flysch à microbrèches).

Au Sud de la Dorsale, le flysch Massylien est représenté par un flysch marno-bréchiq du sénonien, alors qu'au Nord sa lithologie est variée avec des microbrèches accompagnées de calcaires fins, sableux et d'argiles (J .F Raoult, 1974).

#### **II.2.2.2.Le Nummulitique II et l'Oligo-Miocène Kabyle (O.M.K) :**

Le nummulitique II constitue la couverture commune des différentes unités structurales de la Dorsale Kabyle et des séries Mauritanien.

Le terme O.M.K désigne l'ensemble des formations détritiques discordant sur le socle Kabyle et datées à leur base de l'Oligocène terminal et/ou Aquitanien inférieur (J.F. Raoult, 1974).

Dans les argiles de l'O.M.K se rencontrent des blocs qui sont des éléments de toutes tailles et constituent des nappes de flysch.

### **II.2.2.3. La série numidienne :**

La série numidienne est d'âge Oligocène-Miocène inférieur, elle est développée sur les flancs Nord de la dépression d'Azzaba, elle est composée des argiles dites sous-numidiennes, vari colore et fréquemment à Tubotomaculum ; des grés numidiens grossiers et parfois à dragées de quartz ; des argiles supra-numidiennes à horizons siliceux. Dans la région où il n'y a pas de tectonique tangentielle d'âge Miocène moyen ou supérieur, la série numidienne surmonte toujours les autres nappes et n'est impliquée dans aucune des contacts anormaux les séparant.

### **II.2.2.4. les formations post-nappe et les affleurements :**

Les dépôts du Miocène moyen et terminal tant dans leurs faciès marins que dans leurs faciès continentaux, sont franchement discordants sur toutes les unités antérieures et représentent ainsi les formations post-nappes qui affleurent surtout dans les régions littorales.

Deux affleurements seulement ont été signalés au Sud d'Azzaba par (J.M.Vila, 1980) qui présente des marnes fins du Burdigalien et les argiles grises de Dréan datées aussi de la fin du Burdigalien.

### **II.2.2.5. Le Quaternaire :**

Le Quaternaire est composé d'alluvion de toutes sorte : limon, sable, argile-sableuse, cailloutis, arènes et en moindre importance des travertins et des tufs calcaires (Daifallah.T 2008).

Unité structurale	lithologie	Symbole et épaisseur (m)	Désignation et formation	
La formation Post-nappe		q	Argilites sableuse et cailloutis	
		M	Grès calcaires et conglomérat polymétalliques	
Dorsale Kabyle		g <sup>2</sup> :500m	Grès  Argiles	
		ζ <sup>2</sup> :400m	Conglomérats et grès polymétalliques	
		e <sup>4-5</sup> :140m	Conglomérats bréchiques avec une alternance de grès polymétalliques et argilites	
		e <sup>3-4</sup> :45m	Conglomérats brèches calcaires, grès dolomitiques	
		e <sup>3</sup> :20m	Grès calcaires parfois argilites et siltites	
		e <sup>2-3</sup> :35m	Calcaires dolomitiques, gréseux et parfois argilites	
		e <sup>1</sup> :15m	Conglomérats massifs	
		C <sup>6</sup> :13m	Aleurolites, calcaires gréseux et argilites	
		C <sup>5</sup> :120m	Conglomérats de bas calcaires, calcaires siliceux, pseudo-brèches calcaires	
		n <sup>1-3</sup> :130m	Conglomérats brèches calcaires avec des microbrèches	
		J <sup>2</sup> : 25-50m	Conglomérat brèches avec des microbrèches	
		J <sup>2</sup> :30m	Grès calcaireux et des schistes calcaireux	
		J <sup>1</sup> :23m	Dolomie, calcaires intercalé par des dolomies gréseux	
		t <sup>1-3</sup> :450-500m	Conglomérats quartzeux, grès polygéniques alternants avec des aleurolites	
	Socle Kabyle		p <sub>z</sub> :<400m	Schistes sériciteux, chlorite avec des lentilles de quartz et parfois des schistes carbonneux
			x <sub>po</sub> : 150m	Gneiss

Figure 5 : Log stratigraphique de la zone mercurielle Nord Numidique

### **II.3.Tectonique :**

La région étudiée présente une complexité, conditionnée par la superposition de nombreuses nappes, des plis, une série de failles profondes et des charriages liés à de nombreuses phases tectoniques compressives.

La chaîne calcaire (para autochtone) est présentée par la fenêtre tectonique de Djebel Safia (M.Durand Delga, J.F.Raoult et J.M.Vila) caractérisée par un anticlinal déformé d'axe NW-SE et dont la partie orientale est recouverte par des dépôts Quaternaire de la vallée de l'oued Kébir Ouest.

Le Djebel Safia est occupé aussi à l'Est et à l'Ouest par l'ensemble Albo-Aptien d'une épaisseur de 500 m environ désigné Flyschöide par (M.Durand Delga, J.F.Raoult et J.M.Vila).

Dans les limites de la chaîne calcaire, on voit clairement l'autochtone qui est représenté par les roches terrigènes du Permo-Trias, les carbonates du Jurassique, du Crétacé inférieur, et les formations allochtones qui sont composées d'assises métamorphiques du Paléozoïque, avec une couverture tectonique qui constitue les formations numidiennes.

Parmi les failles les plus importantes, celle la grande faille du massif de Djebel Safia qui traverse le site de l'usine « Hadjar Soud » cet accident est accompagné par une fracturation des calcaires.

D'autres failles d'orientation :

**NW-SE :** la faille de Zit Emba et l'accident vertical (faille décrochante senestre au Nord d'Azzaba).

**E-W :** on distingue la faille d'Ahmed Ben-Ali au pied du versant Nord de la chaîne numidique. Cette faille limite la dépression d'Azzaba au Sud. Dans l'Oued Saïafa, elle est cisailée par un accident méridional, qui provoque un déplacement horizontal de 200 m.

De la même direction on note la faille d'El-Kantour qui paraît avoir joué dès la phase fini-lutétienne (J.F.Raoult 1974).

**S-E :** d'après (Benhamza.M 2007) la faille de Zebda s'étend sur le flanc de l'anticlinal de Meksem. Morphologiquement, c'est une faille inverse de direction N 35°E, dont la lèvre affaissée est la partie Sud-Est. Cette faille est considérée comme une des principales structures contrôlant la minéralisation mercurielle du gisement de Ras-El-Ma.

**N-W** : la faille de Saïafa C'est une faille sécante par rapport aux structures plissées de la sous-zone de Saïafa. Elle s'étend sur 2,5 km. C'est une faille normale redressée (75-90°), dont la partie affaissée est représentée par le flanc occidental. L'amplitude du rejet dépasse 200 m (d'après Benhamza.M 2007).

#### **II.4.Conclusion :**

L'étude géologique permet de reconnaître une structure complexe mise en place lors de l'orogénèse alpine. Par la même occasion, elle permet de distinguer selon la nature lithologique, les caractéristiques hydrogéologiques des formations occupant le secteur étudié. Ainsi, les formations perméables et susceptibles d'abriter l'eau souterraine sont représentées par les formations carbonatées liasiques, les dépôts sableux du massif dunaire et les alluvions de l'Oued el Kébir. Quant aux formations imperméables, elles sont d'une part celles situées en profondeur et qui constituent le substratum des nappes de recouvrement et notamment les formations aquifères, c'est le socle métamorphique et les flysch et d'autre part celles qui affleurent et favorisent le ruissellement. Ces formations par leurs épaisseurs, leur structure, leur surface d'affleurement constituent une configuration géologique favorable pour l'emmagasinement et la circulation des eaux souterraines.

# CHAPITRE

# III

## Hydro climatologie

---

*Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre, le cycle global de l'eau. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain (Castany 1998).*

## II.1. Les facteurs climatiques :

La connaissance des facteurs climatiques (pluviométrie, température...) est indispensable pour quantifier les ressources en eau et déterminer la part de l'eau qui s'infiltré. L'objectif de notre étude est l'analyse de ces facteurs et la détermination des différents termes du bilan d'eau.

### II.1.1. Analyse des précipitations :

La pluie est le facteur le plus important pour aborder l'étude du bilan moyen de l'écoulement, elle joue un rôle primordial dans l'alimentation des nappes souterraines et aussi dans le comportement hydrologique des cours d'eau.

L'étude de ce facteur est basée sur la collecte des données. La quantité et la qualité de ces dernières conditionnent les résultats obtenus. Pour mener notre travail nous avons étudié ce paramètre climatique de trois stations dont les coordonnées de ces derniers sont mentionnées dans le tableau 1.

**Tableau 1 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques**

Stations	Code	Coordonnées Lambert (Km)		Altitude (m)	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Période d'observation
		X	Y				
Azzaba	03-11-06	391.35	892.35	93	7° 5' 45"	36° 44' 38"	1980-2011
Ain Charchar	03-12-01	393.28	909.50	34	7° 17' 17"	36° 45' 15"	1980-2013
Skikda	03-09-013	406.40	874.50	1.3	6° 54' 33"	36° 20' 47"	1980-2013

Source : l'A.N.R.H d'Annaba et l'O.N.M de Skikda.

#### II.1.1.1. Coefficient pluviométriques (CP) :

Correspond à la variabilité annuelle des précipitations. Il permet de différencier l'année excédentaire de celle qui est déficitaire. Pour une station donné, il est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année sur la pluviométrie moyenne P', d'une série de la station considérée.

$$CP = P / P'$$

Avec : CP : coefficient pluviométrique.

P : hauteur des pluies annuelles (mm).

P' : précipitation moyenne annuelle (mm).

**Remarque :** la pluviométrie annuelle moyenne ( $P'$ ) de chaque station est :

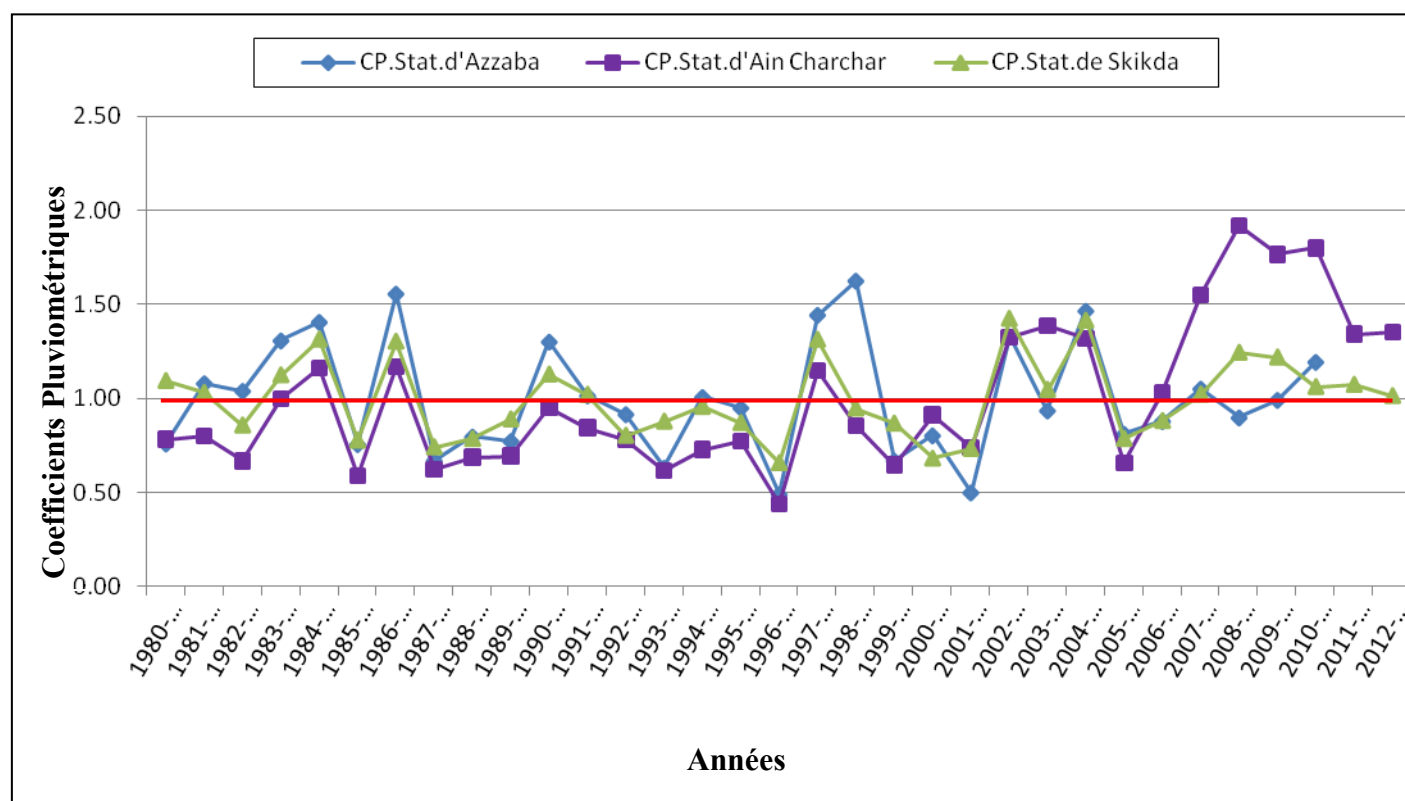
- Station d'Azzaba :  $P' = 629.69$  mm
- Station d'Ain charchar :  $P' = 839.98$  mm
- Station de Skikda :  $P' = 786.58$  mm

**Tableau 2 : Précipitations moyennes annuelles en (mm) et coefficients pluviométriques (CP) des stations Azzaba, Ain charchar et Skikda (1980/1981-2012/2013)**

P, CP Années	Hauteur annuelle des précipitations stat.d'Azzaba P (mm)	Coefficients pluviométriques pour la station d'Azzaba	Hauteur annuelle des précipitations stat.d'Ain charchar P (mm)	Coefficients pluviométriques pour la station d'Ain charchar	Hauteur annuelle des précipitations stat.de Skikda P (mm)	Coefficients pluviométriques pour la station de Skikda
1980-1981	477.7	0.76	655.9	0.78	861	1.09
1981-1982	678.9	1.08	671	0.80	811.5	1.03
1982-1983	653.6	1.04	558.9	0.67	675.8	0.86
1983-1984	821.8	1.31	836.9	1.00	884.9	1.12
1984-1985	883.8	1.40	976	1.16	1034	1.31
1985-1986	475.7	0.76	491.9	0.59	613	0.78
1986-1987	978.3	1.55	981.1	1.17	1025	1.30
1987-1988	421.1	0.67	520.3	0.62	585	0.74
1988-1989	500.7	0.80	574.2	0.68	619	0.79
1989-1990	485.9	0.77	579.9	0.69	701	0.89
1990-1991	817.9	1.30	797.5	0.95	888	1.13
1991-1992	638.1	1.01	706.4	0.84	804	1.02
1992-1993	575.7	0.91	652.7	0.78	633	0.80
1993-1994	396.7	0.63	516.2	0.61	692	0.88
1994-1995	633	1.01	608.9	0.72	753.5	0.96
1995-1996	597.1	0.95	646.5	0.77	685.8	0.87
1996-1997	308.1	0.49	366.2	0.44	518.5	0.66
1997-1998	907.3	1.44	962.4	1.15	1032.9	1.31
1998-1999	1021.6	1.62	715	0.85	746.1	0.95
1999-2000	420.9	0.67	541.1	0.64	683.6	0.87
2000-2001	505	0.80	764.7	0.91	537.7	0.68
2001-2002	314.3	0.50	620	0.74	578.4	0.74
2002-2003	835.9	1.33	1113.4	1.33	1119.9	1.42
2003-2004	588	0.93	1164.8	1.39	824.3	1.05
2004-2005	921.1	1.46	1106.2	1.32	1112.3	1.41
2005-2006	510	0.81	548.2	0.65	619.8	0.79
2006-2007	552.8	0.88	866	1.03	694.4	0.88
2007-2008	661.1	1.05	1304.3	1.55	805.3	1.02
2008-2009	564.6	0.90	1612.4	1.92	978.9	1.24
2009-2010	623.4	0.99	1485	1.77	959.3	1.22
2010-2011	750.3	1.19	1513.5	1.80	835.8	1.06
2011-2012	-	-	1126.9	1.34	845.1	1.07
2012-2013	-	-	1135	1.35	798.2	1.01

Le tableau précédent montre les variations des précipitations au cours des années d'observation notons que :

- $CP > 1$  → année excédentaire
- $CP < 1$  → année déficitaire



**Figure 6 : Variations des coefficients pluviométriques pour les trois stations Azzaba, Ain Charchar et Skikda**

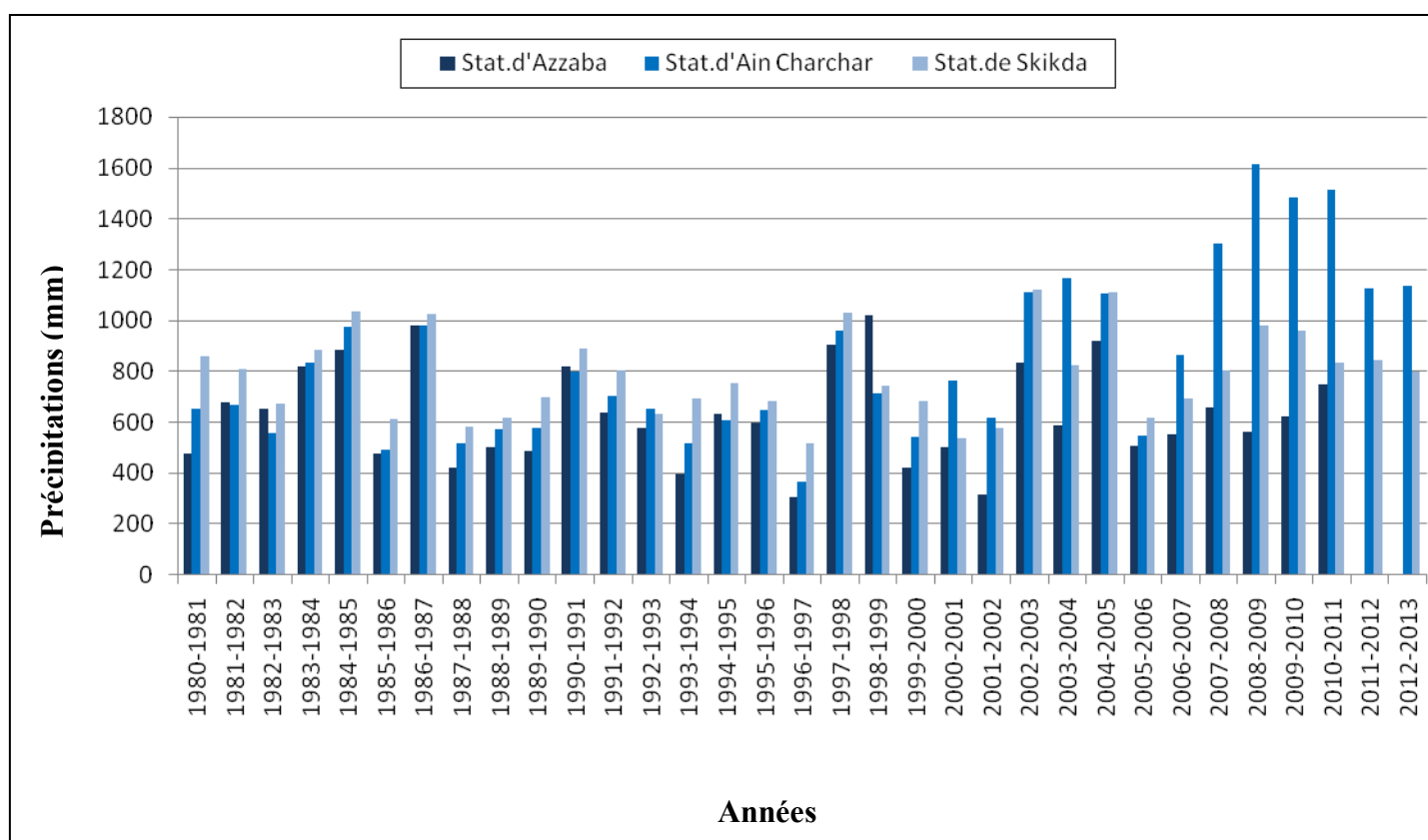
La figure 6 illustre les variations des coefficients pluviométriques (CP) des trois stations. Il permet de distinguer les années excédentaires et déficitaires enregistrés simultanément dans les trois stations étudiées.

- **Années excédentaires :** 1982-1983, 1983-1984, 1986-1987, 1997-1998, 2002-2003, 2004-2005, 2007-2008, 2010-2011.
- **Années déficitaires :** 1985-1986, 1987-1988, 1988-1989, 1989-1990, 1992-1993, 1993-1994, 1995-1996, 1996-1997, 1999-2000, 2005-2006, 2001-2002, 2000-2001.

## II.1.1.2. Variations des précipitations dans le temps :

### II.1.1.2.1. Variations moyennes annuelles des précipitations :

La pluviométrie maximale a été enregistrée en 2008/2009 à la station d'Ain Charchar (1612.4 mm). La pluviométrie minimale a été enregistrée en 1996/1997 à la station d'Azzaba (308.1 mm), (d'après annexes 1, 2 et 3).



**Figure 7 : Variations moyennes annuelles des précipitations aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda**

Les irrégularités interannuelles des précipitations sont traduites par le coefficient de variation (CV) égale au rapport de l'écart type à la moyenne.

**Tableau 3 : Précipitations annuelles et leurs variabilités**

Stations P (mm)	Azzaba	Ain Charchar	Skikda
<b>Max</b>	1021.6	1612.4	1119.9
<b>Min</b>	308.1	366.2	518.5
<b>Moyenne</b>	629.69	839.98	786.58
<b>Ecart type</b>	192.30	324.93	166.29
<b>CV</b>	0.31	0.39	0.21

$$CV = \sigma_p / P'$$

Avec :

$$\text{Ecart type : } \sigma_p = \sqrt{\sum (P_i - P')^2 / n}$$

Pour  $n > 30$

$$\text{La moyenne : } P' = \sum P_i / n$$

$n$  : taille de l'échantillon.

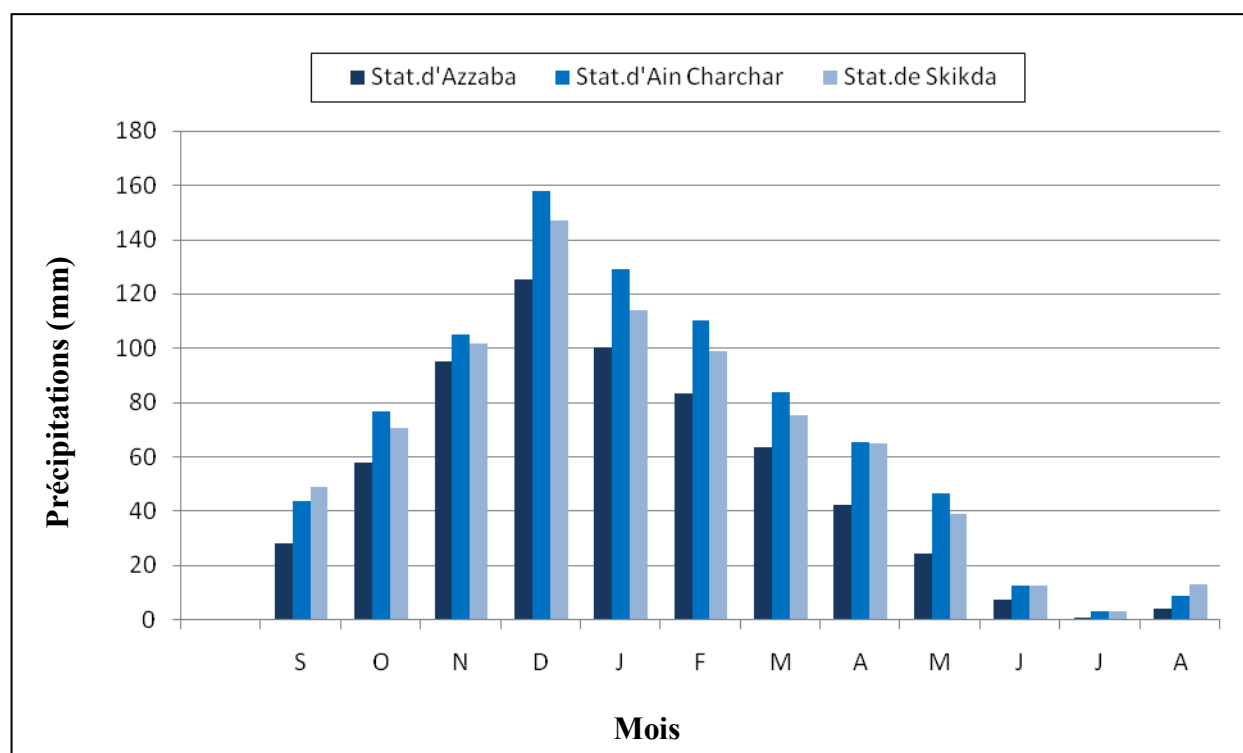
Les coefficients de variations varient d'une station à l'autre, 0.31 pour la station d'Azzaba, 0.39 pour la station d'Ain Charchar et 0.21 pour la station de Skikda ce qui traduit par une certaine régularité de la distribution des précipitations moyennes annuelles tant au niveau spatial que temporel.

#### II.1.1.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations :

Les données des précipitations moyennes mensuelles pour les trois stations sont consignées dans le tableau suivant :

**Tableau 4 : Variations moyennes mensuelles des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda**

Mois stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Azzaba</b>	28.07	57.44	94.71	125.37	100.22	83.11	63.11	42.06	24.23	7.10	0.44	3.70
<b>Ain Charchar</b>	43.30	76.58	104.74	157.97	128.75	110.03	83.72	65.38	46.11	12.30	2.64	8.47
<b>Skikda</b>	48.67	70.23	101.47	146.99	113.92	98.83	74.94	64.79	38.84	12.35	2.84	12.71



**Figure 8 : Variations moyennes mensuelles des précipitations aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda**

D'après la figure ci-dessus nous constatons que:

- Les précipitations moyennes mensuelles varient d'un mois à l'autre.
- La hauteur pluviométrique maximale est marquée à partir du mois de Décembre avec une précipitation de 125.37 mm à la station d'Azzaba et 157.97 mm à la station d'Ain Charchar, et enfin de l'ordre de 146.99 mm pour la station de Skikda (le mois le plus pluvieux).
- Par contre la hauteur pluviométrique minimale est enregistrée au mois de Juillet avec 0.44 mm pour la station d'Azzaba et avec 2.64 mm pour la station d'Ain Charchar, et de l'ordre de 2.84 mm pour la station de Skikda (le mois le plus sec).

### II.1.1.2.3. Variations moyennes saisonnières des précipitations :

Les quatre saisons de l'année sont :

- L'automne (septembre, octobre et novembre)
- L'hiver (décembre, janvier et février).
- Le printemps (mars, avril et mai).
- L'été (juin, juillet et août).

La répartition des précipitations selon les saisons se fait comme dans le tableau suivant :

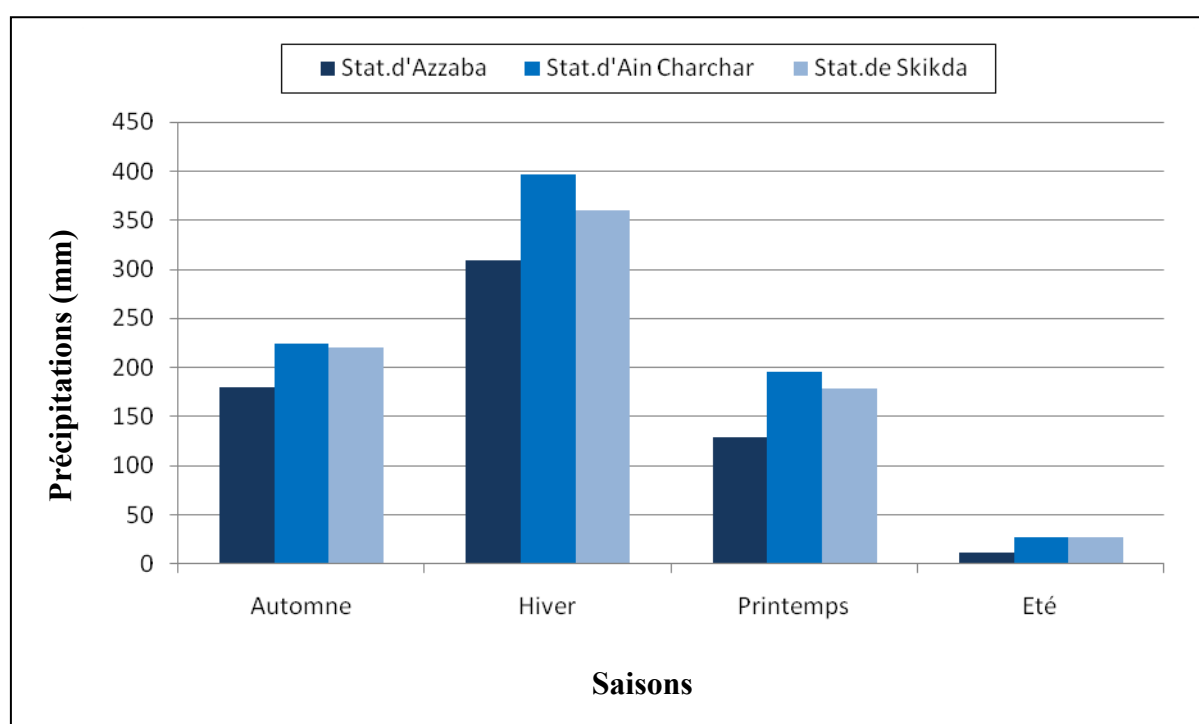
**Tableau 5 : Répartition saisonnière des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda**

Saisons Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Somme
<b>Azzaba</b>	180.22 mm	308.84 mm	129.40 mm	11.24 mm	629.70 mm
	28.62 %	49.05 %	20.55 %	1.78 %	100%
<b>Ain Charchar</b>	224.62 mm	396.75 mm	195.21 mm	27.9 mm	844.48 mm
	26.60 %	46.98 %	23.12 %	3.30 %	100%
<b>Skikda</b>	220.37 mm	359.74 mm	178.57 mm	27.9 mm	786.57 mm
	28.02 %	45.73 %	22.70 %	3.55 %	100%

Les résultats du tableau 5 montrent que l'hiver est la saison la plus pluvieuse pour les trois stations Azzaba, Ain Charchar et Skikda avec des taux variant de 49.05 %, 46.98 % et 45.73 % respectivement.

L'été correspond à la saison sèche avec des pourcentages variant entre 1.78 %, 3.30 % et 3.55 % pour les stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda respectivement.

L'automne est une saison légèrement pluvieuse pour les trois stations.



**Figure 9 : Variations moyennes saisonnières des précipitations aux stations d'Azzaba, Ain Charchar et Skikda**

## II.1.2. Analyse des températures :

La température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration (les pertes d'eau). Elle permet d'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier intervient dans le développement du rythme biologique des végétaux. Aussi elle facilite l'établissement du bilan hydrique.

La station de Skikda est la seule à pouvoir enregistrée ce facteur. L'absence des données des températures dans les autres stations, nous a obligé à utiliser les données de la station de Skikda sur 33 ans, pour le calcul du bilan.

### II.1.2.1. Variations moyennes mensuelles des températures :

Les valeurs des températures sont consignées dans le tableau suivant:

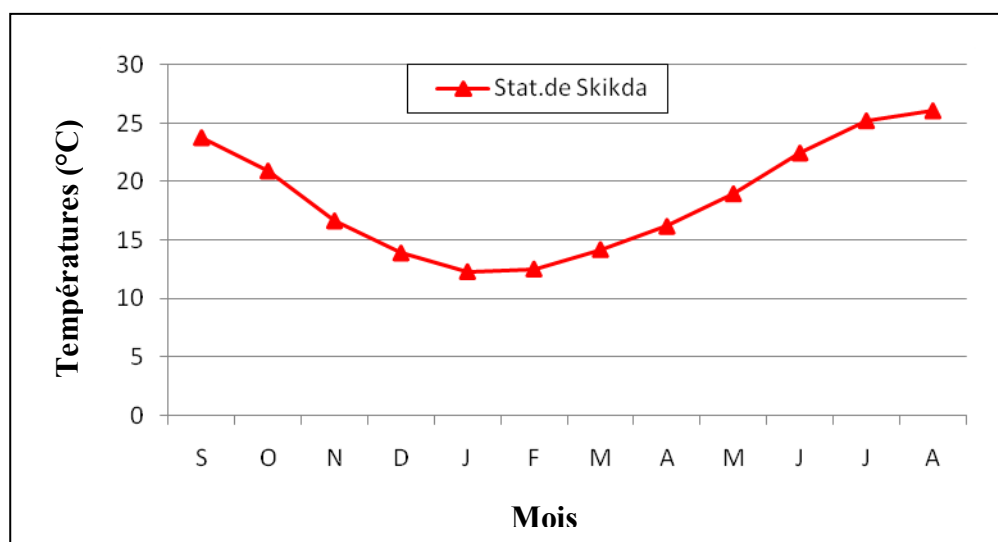
**Tableau 6 : Variations moyennes mensuelles des températures en (°C) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Skikda	23.75	20.90	16.62	13.86	12.26	12.49	14.16	16.15	18.94	22.44	25.20	26.06

D'après le tableau ci-dessus, la température moyenne annuelle est de l'ordre de 18.57°C.

- Les plus faibles valeurs ont été mesurées au mois de Janvier et Février avec des températures de 12.26°C et de 12.49°C (les mois les plus froids).
- Par contre les plus fortes valeurs caractérisent les mois de Juillet et Août avec des températures de 25.20°C et 26.06°C (les mois les plus chauds)

La figure ci-dessous montre les variations des températures d'un mois à l'autre.

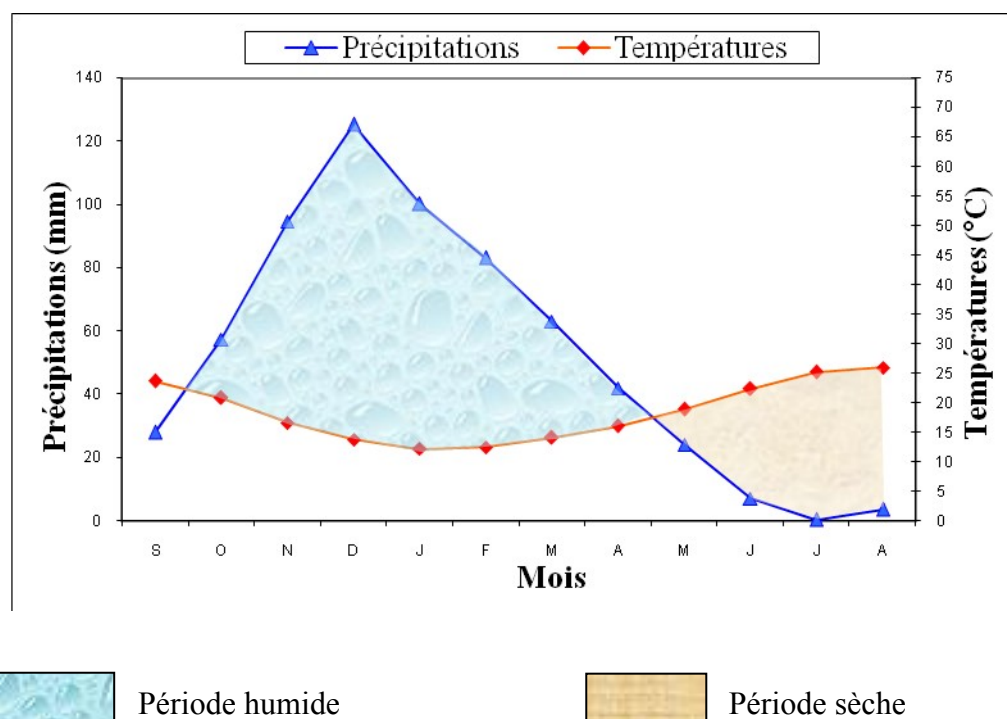


**Figure 10 : Variations moyennes mensuelles des températures en (°C) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

### II.1.3. Diagramme Ombro-thermique :

On l'appelle aussi la courbe pluviométrique. Elle est représentée graphiquement par la combinaison de deux facteurs, la température (°C) et la précipitation (mm) ; Les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations selon la définition de GAUSSEN 1958. Notons que une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température ( $P \leq 2T$ ).

Comme on a mentionnée précédemment, le manque des températures aux stations d'Azzaba et Ain Charchar nous a conduites à utiliser les températures de la station de Skikda pour tracer un diagramme ombro-thermique représenté dans les figures 11, 12 et 13.



**Figure 11 : Diagramme ombro-thermique de la station d'Azzaba**

- Pour la station d'Azzaba et à partir de la figure 11 on a marquée deux périodes l'une sèche commence du début du mois de Mai et s'étant jusqu'au début du mois d'Octobre, et l'autre humide commence du début du mois d'Octobre jusqu'au début du mois de Mai.

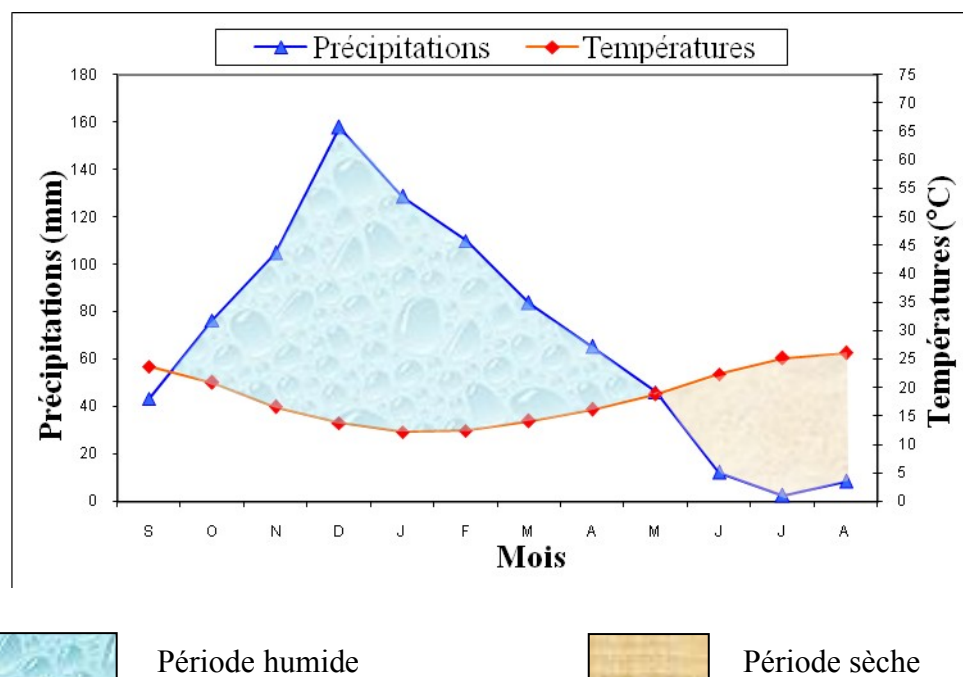


Figure 12 : Diagramme ombro-thermique de la station de Ain Charchar

- Pour la station d'Ain Charchar, la période sèche débute de la moitié du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de Septembre, et la période humide commence de la fin du mois de Septembre jusqu'au le mois de Mai.

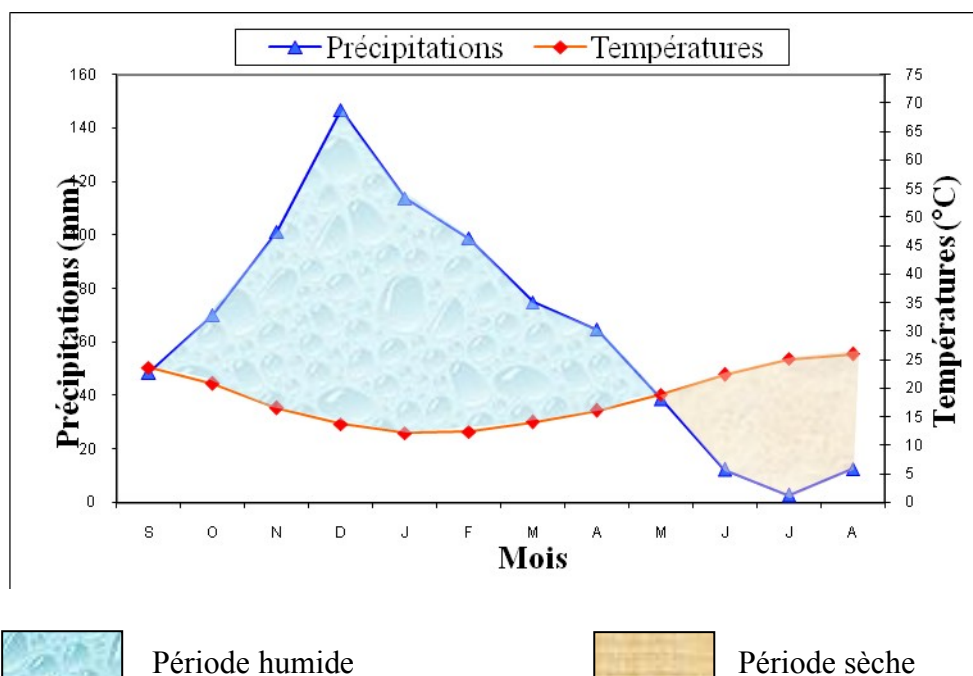


Figure 13: Diagramme ombro-thermique de la station de Skikda

- Pour la station de Skikda le diagramme montre la même significatif que la station d'Ain Charchar.

#### II.1.4. L'humidité relative :

L'humidité relative de l'air montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation, elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température elle est exprimée en %. Ce paramètre intervient comme coefficient de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50%. A la station de Skikda, les moyennes mensuelles varient de 74.55 % en hiver au mois de Janvier à 71.85 % en été au mois de Juillet avec une moyenne annuelle de l'ordre de 73.28 %. Le tableau ci-après représente les variations moyennes mensuelles d'humidité de la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).

**Tableau 7 : Humidités relatives moyennes mensuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Skikda	73.27	72.78	72.89	73.26	74.55	73.85	73.11	73.05	74.49	73.60	71.85	72.67

En ce qui concerne les variations moyennes annuelles, on voit que le maximum d'humidité est enregistré en 1986/1987 avec 78.43 % et le minimum en 2012/2013 avec 67.40 % (tableau 8).

**Tableau 8 : Humidités relatives moyennes annuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

Années	Humidités relatives %	Années	Humidités relatives %
80 /81	76.84	97 /98	70.23
81 /82	75.70	98 / 99	72.77
82 /83	76.97	99 /00	72.20
83 /84	77.95	00 /01	72.70
84 /85	76.08	01 /02	75.52
85 /86	77.13	02 /03	74.74
86 /87	78.43	03/ 04	76.61
87 /88	76.17	04 /05	76.61
88 /89	76.80	05/ 06	73.23
89 / 90	75.67	06 /07	73.14
90 /91	71.90	07 /08	73.23
91 /92	72.86	08 /09	70.70
92 /93	71.18	09/10	68.28
93 /94	70.31	10/11	69.03
94 /95	70.72	11/12	69.79
95 /96	69.17	12/13	67.40
96 /97	69.42		

### II.1.5. Le vent :

Il représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. Sur la région d'étude dominant des vents de direction nord-ouest dont la force est assez constante, au cours de l'année et oscillent entre 2,79 et 3,84 m/s. Le Sirocco se manifeste particulièrement aux mois de Juillet et Août mais de manière épisodiques.

Le tableau suivant donne une idée sur la vitesse du vent mesurée à la station de Skikda.

**Tableau 9 : La vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Skikda	2.94	3.10	3.58	3.84	3.59	3.46	3.26	3.15	2.82	2.81	2.79	2.82

La vitesse la plus forte du vent est marquée en hiver par contre la vitesse la plus faible est marquée en été.

### II.1.6. Caractéristiques climatiques d'aridité :

Emmanuelle DE.MARTONNE (1925) a proposé une formule climatologique appelé indice d'aridité, en fonction des températures et des précipitations :

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

Avec : A : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Selon DE.MARTONNE :

- Si  $A < 5$  : le climat est hyper aride.
- Si A entre [5-10] : le climat est très sec.
- Si A entre [10-20] : le climat est sec.
- Si A entre [20-30] : le climat est tempéré.
- Si  $A > 30$  : le climat est humide.

A partir de ces données et après les calculs les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau 10 : Indice d'aridité annuelle d'après la formule de DE.MARTONNE**

les Stations	Pluviométrie annuelle moyenne P (mm)	Température moyenne annuelle T (mm)	Indice d'aridité (A)
Azzaba	629.69	18.57	22.04
Ain Charchar	839.98	18.57	29.40
Skikda	786.58	18.57	27.53

D'après le tableau on remarque que :

L'indice d'aridité (A) est compris entre [20-30] pour les trois stations Azzaba, Ain Charchar et Skikda donc on peut confirmer que la région d'étude est caractérisée par un climat tempéré.

## II.2.Le bilan hydrique :

C'est l'étude qui permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes de bilan à savoir (l'évaporation, l'infiltration et l'écoulement ...). Le bilan hydrique est calculé par la méthode de THORNTHWITE .qui tient compte de la température, la précipitation, l'ETP, ETR et RFU...

Il est calculé par la formule suivant :

$$P=R+E+I$$

Avec : P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : ruissellement de surface moyenne annuelle (mm).

E : évapotranspiration moyenne annuelle (mm).

I : infiltration moyenne annuelle (mm).

### II.2.1.Estimation des paramètres du bilan :

#### II.2.1.1.L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (processus biologique).

Le terme évapotranspiration englobe deux types :

##### II.2.1.1.1.L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eaux pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période donnée. En considérant des apports d'eaux suffisants. L'ETP est calculée par la formule C.W.Thornthwaite (1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station. Elle est donnée par l'expression suivante :

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

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle du mois en (mm).

T : température moyenne mensuelle de la période en (°C).

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i).

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Avec :  $i = (t/5)^{1.5}$

$$a = (1.6/100) I + 0.5$$

K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

### II.2.1.1.2.L'évapotranspiration réelle (ETR) :

On appelle aussi l'évapotranspiration effective, c'est la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie. L'ETR représente la quantité de vapeur effectivement exportée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux.

La formule de Turc (1954), qui permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie et de la température moyenne annuelle, dont l'expression suivante :

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

Avec : ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

t : température moyenne annuelle en (°C).

A partir de la formule de Turc les résultats de l'ETR pour les trois stations fait dans le tableau suivant :

**Tableau 11: Déterminations des paramètres de l'évapotranspiration réelle**

paramètres Les stations	Précipitation moyenne annuelle (mm)	Températures moyennes annuelles (°C)	ETR en (mm)
Azzaba	629.69	18.57	567.28
Ain Charchar	839.98	18.57	688.50
Skikda	786.58	18.57	660.99

L'ETR est également calculée par la méthode du bilan hydrique mensuelle de C.W.Thornthwaite, qui est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), cette eau peut être reprise par l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

Pour notre cas la région de Azzaba-Guerbès on prend RFU = 100 mm.

La satisfaction de l'ETP est prioritaire sur l'écoulement, c'est-à-dire avant qu'il y ait écoulement il faut avoir satisfait ce qu'on appelle le pouvoir évaporant (ETP = ETR), par ailleurs le remplissage de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit alors un bilan à échelle mensuelle à partir de la pluie du mois, de l'ETP et la RFU. Les résultats sont montrés dans les tableaux 14, 15 et 16.

### II.2.1.2. Le ruissellement :

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration.

Le ruissellement est calculé par :

- La formule de TIXERON-BERKALOFF :

$$R = (P^3 / 3) \times ETP^2 \quad \text{Si : } P < 600 \text{ mm}$$

Avec : R : ruissellement en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

- La formule de TEXERON-BERKALOFF modifiée par ROMANTCHOOK :

$$R = P^3 / 3 \quad \text{Si : } P > 600 \text{ mm}$$

Comme on a dans les trois stations de mesure  $P > 600$  mm on applique la deuxième formule, qui donne un ruissellement présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 12 : Détermination des paramètres de ruissellement**

Les stations \ Paramètres	Précipitations moyennes annuelles en (mm)	Le ruissellent en (mm)
Azzaba	629.69	83.22
Ain Charchar	839.98	197.55
Skikda	786.58	162.22

**II.2.1.3.L'infiltration :**

On utilise la formule générale du bilan hydrique :

$$P = R + I + ETR$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec : R : ruissellement en (mm).

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

I : infiltration en (mm).

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau 13 : Détermination des paramètres de la formule du bilan hydrique**

paramètres stations	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Azzaba	629.69	83.22	433.79	112.68
Ain Charchar	839.98	197.55	516.24	126.19
Skikda	786.58	162.22	512.48	111.88

**II.2.2.Représentation graphique du bilan hydrique :**

Les figures 14,15 et 16 illustrent les résultats des tableaux 14,15 et 16 respectivement.

Tableau 14 : Bilan hydrique pour la station d'Azzaba d'après la méthode de C.W. Thornthwaite

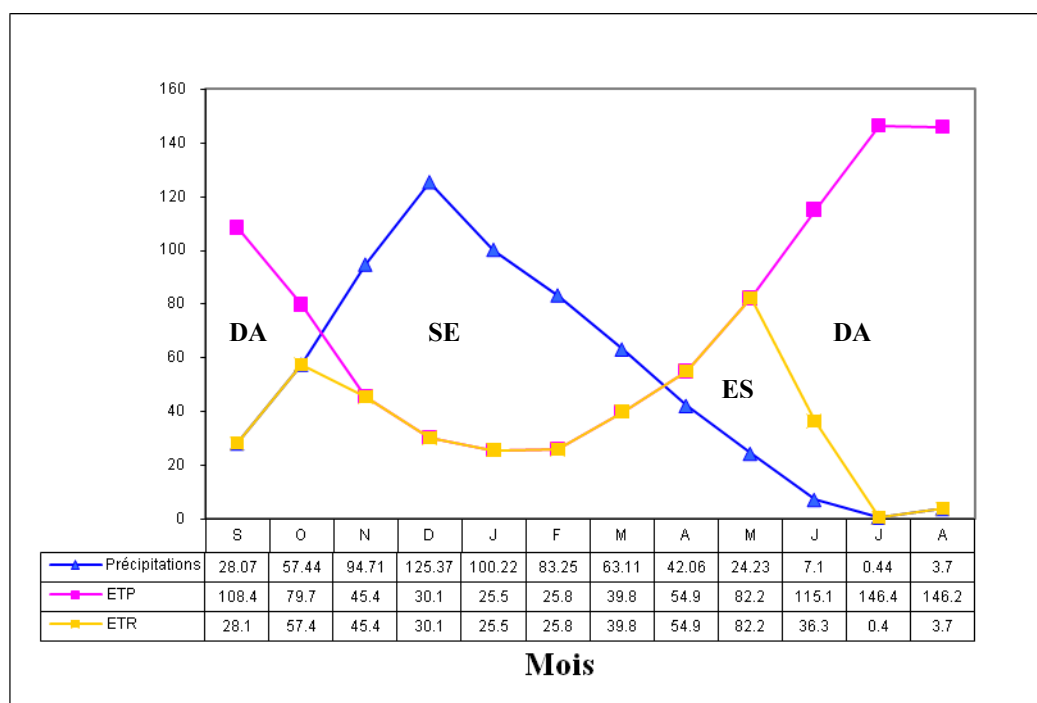
Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
	P (mm)	28.07	57.44	94.71	125.37	100.22	83.25	63.11	42.06	24.23	7.1	0.44	3.7
T (°C)	23.75	20.9	16.62	13.86	12.26	12.49	14.16	16.15	18.94	22.44	25.2	26.06	18.57
I	10.35	8.55	6.06	4.62	3.84	3.95	4.77	5.81	7.37	9.51	11.31	11.90	88.03
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETP (mm)	109.71	80.93	46.32	30.84	26.21	26.53	40.85	56.09	83.65	116.60	147.90	147.52	913.15
ETR (mm)	28.07	57.44	46.32	30.84	26.21	26.53	40.85	56.09	83.65	33.65	0.44	3.7	433.79
RFU (mm)	0	0	48.39	100	100	100	100	85.97	26.55	0	0	0	-
EXD (mm)	0	0	0	42.92	74.01	56.72	22.26	0	0	0	0	0	195.91
DA (mm)	81.64	23.49	0	0	0	0	0	0	0	82.95	147.46	143.82	479.36

Tableau 15 : Bilan hydrique pour la station d'Ain Charchar d'après la méthode de C.W. Thornthwaite

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
	P (mm)	43.3	76.58	104.74	157.97	128.75	110.03	83.72	65.38	46.11	12.3	2.64	8.47
T (°C)	23.75	20.9	16.62	13.86	12.26	12.49	14.16	16.15	18.94	22.44	25.2	26.06	18.57
I	10.35	8.55	6.06	4.62	3.84	3.95	4.77	5.81	7.37	9.51	11.31	11.90	88.03
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETP (mm)	109.71	80.93	46.32	30.84	26.21	26.53	40.85	56.09	83.65	116.60	147.90	147.52	913.15
ETR (mm)	43.3	76.58	46.32	30.84	26.21	26.53	40.85	56.09	83.65	74.76	2.64	8.47	516.24
RFU (mm)	0	0	58.42	100	100	100	100	100	62.46	0	0	0	-
EXD (mm)	0	0	0	85.55	102.54	83.5	42.87	9.29	0	0	0	0	323.75
DA (mm)	66.41	4.35	0	0	0	0	0	0	0	41.84	145.26	139.05	396.91

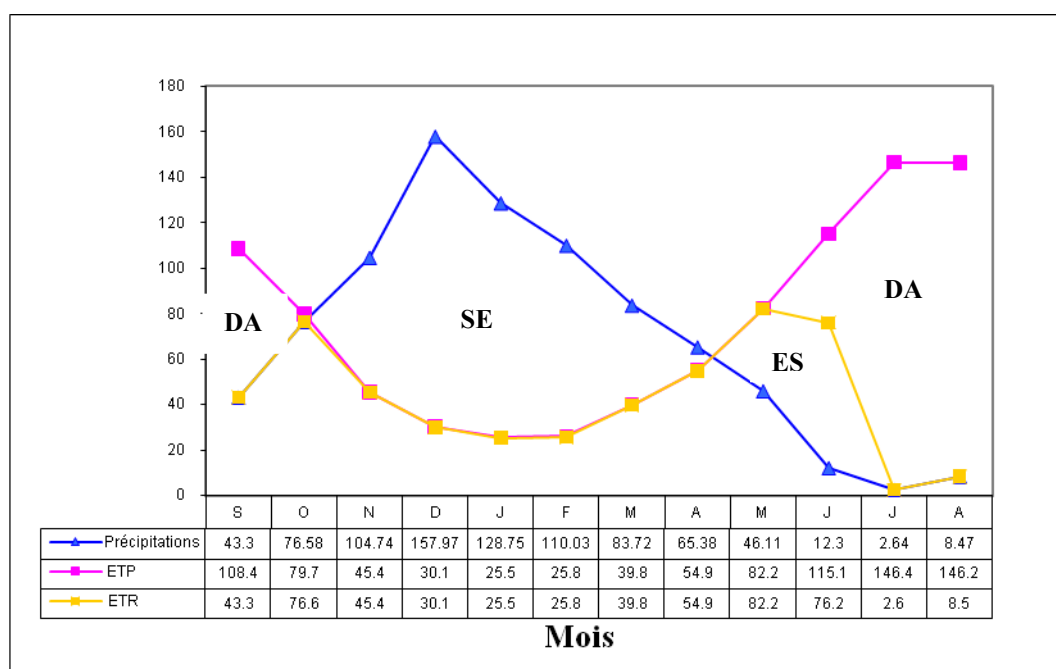
Tableau 16 : Bilan hydrique pour la station de Sikida d'après la méthode de C.W. Thornthwaite

Mois / Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P (mm)	48.67	70.23	101.47	146.99	113.92	98.83	74.94	64.79	38.84	12.35	2.84	12.71	786.58
T (°C)	23.75	20.9	16.62	13.86	12.26	12.49	14.16	16.15	18.94	22.44	25.2	26.06	18.57
I	10.35	8.55	6.06	4.62	3.84	3.95	4.77	5.81	7.37	9.51	11.31	11.90	88.03
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETP (mm)	109.71	80.93	46.32	30.84	26.21	26.53	40.85	56.09	83.65	116.60	147.90	147.52	913.15
ETR (mm)	48.67	70.23	46.32	30.84	26.21	26.53	40.85	56.09	83.65	67.54	2.84	12.71	512.48
RFU (mm)	0	0	55.15	100	100	100	100	100	55.19	0	0	0	-
EXD (mm)	0	0	0	71.3	87.39	72.3	34.09	8.7	0	0	0	0	273.78
DA (mm)	61.04	10.7	0	0	0	0	0	0	0	49.06	145.06	134.81	400.67



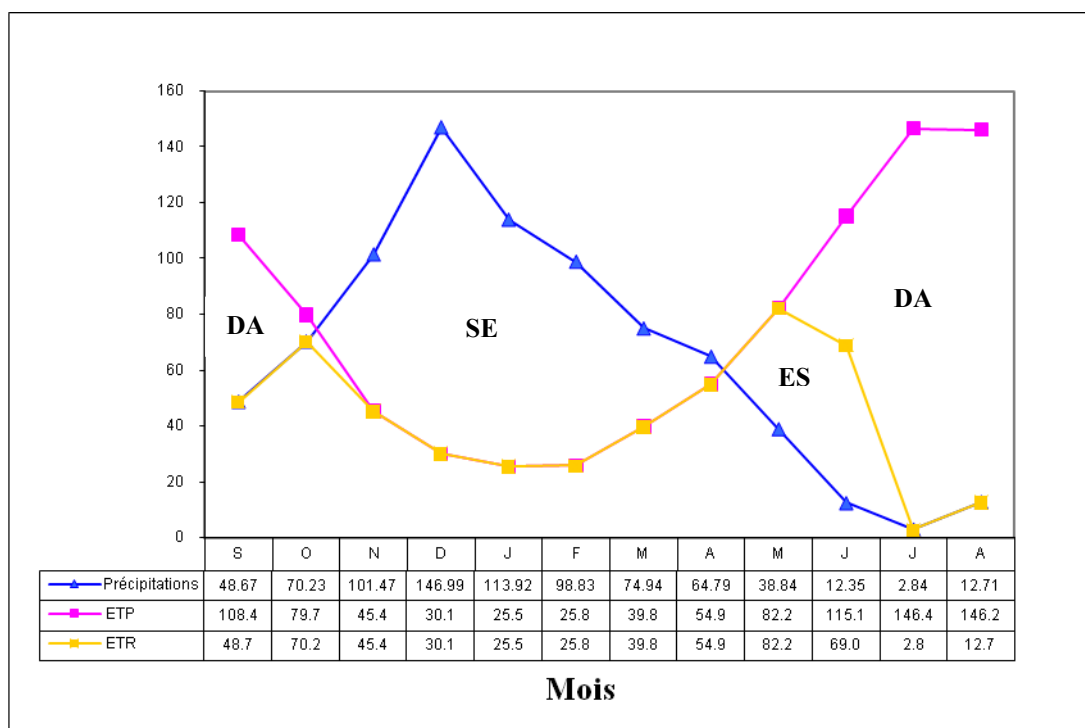
SE : Surplus d'eau      DA : Déficit agricole      ES : Epuisement du stock

Figure 14 : Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite pour la station d'Azzaba (1980/1981-2010/2011)



SE : Surplus d'eau      DA : Déficit agricole      ES : Epuisement du stock

Figure 15 : Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite pour la station d'Ain Charchar (1980/1981-2012/2013)



**SE** : Surplus d'eau

**DA** : Déficit agricole

**ES** : Epuisement du stock

**Figure 16 : Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite pour la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

### III.2.3. Interprétation du bilan hydrique :

Les figures 14, 15 et 16 présentent les graphiques du bilan hydrique (méthode de Thornthwaite) qui illustre les résultats des tableaux 14, 15 et 16 pour les stations (Azzaba, Ain Charchar et Skikda), et d'après ces résultats on a marqué les observations suivantes :

- ✓ On remarque que : si le réserve facilement utilisable (RFU) est totale il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement, et quant elle commence à diminuer il y a un épuisement du stock au point que la (RFU=0) il aura un déficit agricole au début de mois de Juin jusqu'à la fin du mois d'Octobre.
- ✓ L'évapotranspiration potentielle (ETP) dans les trois stations (Azzaba, Ain Charchar et Skikda) atteint son maximum au mois de Juillet avec 146.4 mm et avec un minimum de 25.5mm au mois de Janvier.

L'ETP totale pour les trois stations est de l'ordre de 913.15 mm.

Dans les deux stations Ain Charchar et Skikda l'écoulement commence après le remplissage de la RFU (100 mm) le début du mois de Décembre jusqu'à la fin du mois d'Avril , avec un maximum

au mois de Janvier de  $EX = 102.54$  mm pour la station d' Ain Charchar et  $EX = 87.39$  mm pour la station de Skikda, et avec un minimum au mois d'Avril de  $9.29$  mm pour la station d' Ain Charchar et de  $8.7$  mm pour la station de Skikda, par contre la station de Azzaba l'écoulement commence après le remplissage de la RFU =  $100$  mm au mois de Décembre et se termine à la fin du mois de Mars avec un maximum de  $74.01$  mm au mois de Janvier et un minimum de  $22.26$  mm au mois de Mars.

- ✓ L'Excédent annuelle est de l'ordre de  $195.91$  mm,  $323.75$  mm et de  $273.78$  mm successivement pour les trois stations : Azzaba, Ain Charchar et Skikda.

### **II.3.Conclusion :**

L'ensemble des données climatiques permet d'attribuer à la région un climat tempéré méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide et pluvieuse allant du mois de Septembre au mois de Mai et l'autre sèche et chaude allant de la fin du mois de Mai jusqu'à Septembre.

La formule du bilan de Thornthwaite, permet l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration ETR ( $433.79$  mm pour la station d'Azzaba,  $516.24$  mm pour la station d'Ain Charchar et  $512.48$  mm pour la station de Skikda). En conséquence malgré que la région soit bien arrosée par rapport au reste du pays, on observe quand même un déficit agricole ( $479.36$  mm pour la station d'Azzaba,  $396.91$  mm pour la station d'Ain Charchar et  $400.67$  mm pour la station de Skikda), alors que la recharge interannuelle est relativement faible. Cependant en période humide on a remarqué que les averses sont soudaines et fortes mais qu'elles durent peu de temps.

# CHAPITRE IV

## Etude hydrogéologique

---

*L'étude hydrogéologique permet de compléter et de confirmer ce qui a été précédemment énoncé par la géologie.*

*Donc cette étude s'avère nécessaire pour arriver à une bonne connaissance des horizons aquifères, ainsi que leurs caractéristiques hydrodynamiques.*

#### **IV. Identification des systèmes aquifères :**

Pour une meilleure évaluation de la ressource en eau souterraine dans l'espace étudié, il est nécessaire d'identifier les différents systèmes aquifères rencontrés dans la zone d'Azzaba et celle de Guerbès.

L'importance d'une étude hydrogéologique de ces systèmes aquifères s'impose, afin de nous bien rendre compte des principaux processus, définissant le comportement de l'ensemble du système d'écoulement souterrain dans toutes ses dimensions, et par conséquent parcourir les aquifères, délimiter leurs géométries, leurs modes d'alimentation, évaluer par suite les caractéristiques hydrodynamiques (gradient hydraulique, transmissivité, perméabilité et débits), pour arriver ainsi à tracer les cartes illustrant le réseau d'écoulement propre à chaque nappe.

##### **IV.1. Le système aquifère de la plaine d'Azzaba :**

###### **IV.1.1. Aperçue sur la plaine d'Azzaba :**

La plaine d'Azzaba large de 8 kilomètres au maximum, elle se situe dans la zone mercurielle Nord numidique, elle se trouve à 80 km au Nord-Est de Constantine, à 70 Km au Sud-Ouest de Annaba et à 32 Km au Sud-Est de Skikda.

###### **IV.1.2. Identification des formations hydrogéologiques :**

Selon la bibliographie et les études effectuées antérieurement dans la région d'Azzaba et la carte hydrogéologique de la région mercurielle de la chaîne Nord-Numidique on distingue trois horizons aquifères :

###### **IV.1.2.1. Horizon aquifère des dépôts alluvionnaires récents :**

L'horizon aquifère des dépôts alluvionnaires récents et des terrasses situées au dessus de la plaine inondable de l'Oued Fendek a une extension limitée. Les eaux phréatiques comprises dans les sables hétéro grenus et au sein des dépôts de galets et des graviers ont un niveau libre. La puissance de la nappe varie de 2 à 5 m.

Le niveau des eaux souterraines diminue en été jusqu'à la base des dépôts alluvionnaires, l'alimentation en eau de cet horizon aquifère se fait principalement par les précipitations atmosphériques.

###### **IV.1.2.2. Horizon aquifère des dépôts de l'Oligocène :**

Les roches aquifères des dépôts de l'Oligocène sont les grès fissurés alternant avec des lits d'argiles. La puissance totale des grès varie entre 32 et 62 m.

L'alimentation des eaux souterraines se fait par les précipitations atmosphériques dans les endroits où les grès affleurent et le drainage des eaux des horizons sous-jacents, qui circulent suivant les accidents tectoniques.

Le mur séparant la nappe aquifère de l'Oligocène de celle du Paléocène-Eocène est représenté par les schistes charbonneux du Paléozoïque, les argilites et les aleurolites du Lutétien-Priabonien. La puissance des roches imperméables est de l'ordre de 50-60 m.

#### **IV.1.2.3. Horizon aquifère du Paléocène-Eocène :**

Le complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène est largement développé dans la région d'étude.

Vu l'absence de murs imperméables, les horizons aquifères ont une liaison hydraulique étroite et forment un complexe aquifère uni des eaux de filons et de diaclases

La puissance des roches aquifères varie en larges plages La profondeur de leur disposition augmente vers le Nord.

L'alimentation des eaux souterraines du complexe se fait par les précipitations atmosphériques. Ce type d'alimentation se situe dans la partie SW de la région, là où affleurent les roches du Paléocène-Eocène. Les grands accidents tectoniques affectant les formations du Paléocène-Eocène, jouent en conditions hydrogéologiques du complexe un rôle de drains naturels. Par ces derniers les eaux souterraines sont drainées des terrains voisins. En s'enfonçant vers le Nord, les eaux souterraines s'accumulent dans des calcaires fissurés et karstiques et des grès calcaireux du Paléocène-Eocène.

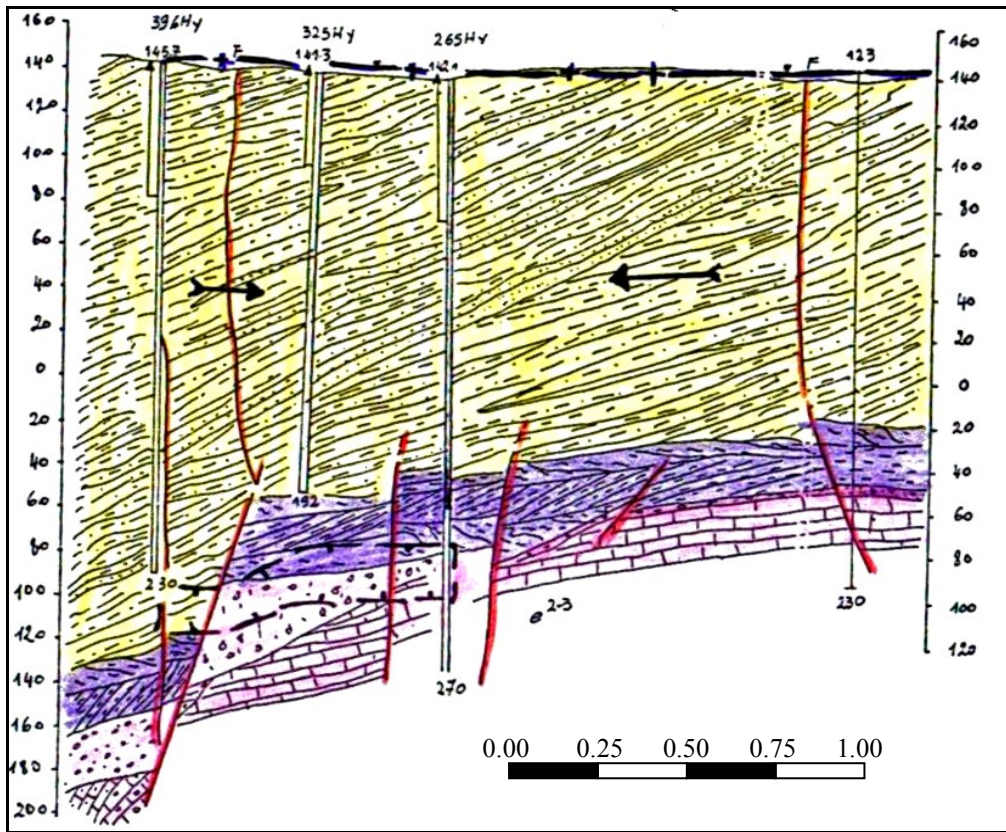


Figure 17 : Coupe hydrogéologique II-II dans la zone mercurielle Nord Numidique (d'après Benhamza.M 2007)

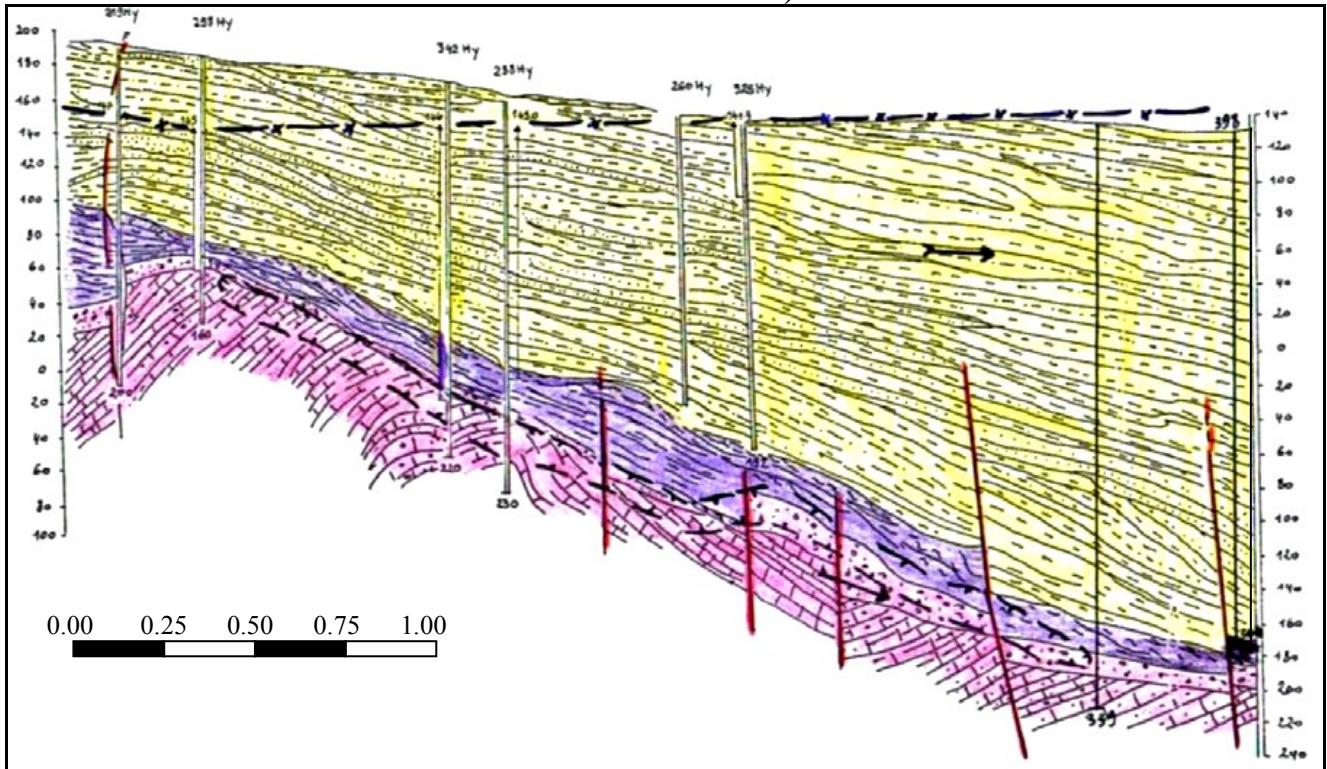




Figure 18 : Coupe hydrogéologique III-III dans la zone mercurielle Nord Numidique (d'après Benhamza.M 2007)

Légende :

 Brèches et conglomérats  
brèches calcaires


 Microbrèches calcaires


 Calcaires


 Calcaires argileux

 Grès calcaires et  
calcaires gréseux

 Calcaires gravélitiques

 Grès massifs

 Gravélites


 Conglomérats et  
conglomérats brèches


 Argilites et aleurolites


 Argiles

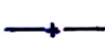
 Calcaires métamorphiques

 Schistes carbonneux et  
graphiteux


 Complexe aquifère des  
roches de l'oligocène


 Complexe aquifère des roches  
du paléocène éocène

 Roches impérméables

 Complexe aquifère des dépôts de l'Oligocène

 Complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène

 Direction du courant Souterrain.

 Limites des travaux miniers.

### IV.1.3. Piézométrie :

#### IV.1.3.1. Inventaire des points d'eau :

Le niveau piézométrique est estimé à partir des données de niveau statiques des quelques puits en exploitation situés avoisinant l'oued Fendek selon les mesures qui ont été effectuées en période des basses et hautes eaux, et leurs cotes terrain naturel extrait de la carte topographique d'Azzaba (échelle 1/50 000).

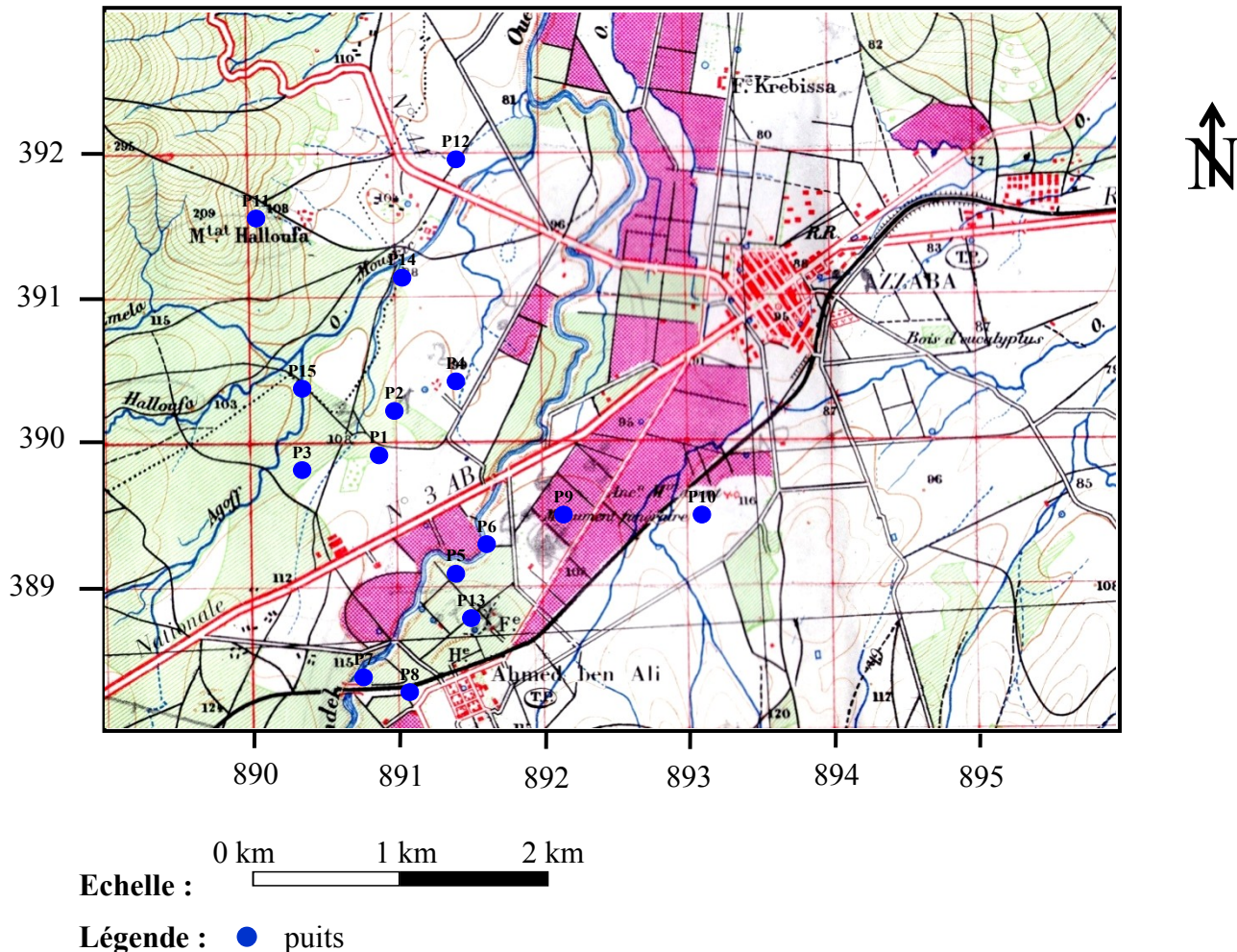


Figure 19 : Carte d'inventaire des points d'eau dans la plaine d'Azzaba

#### IV.1.3.2. Cartes piézométriques :

Les cartes piézométriques sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions captatives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique. Aussi la carte piézométrique a pour but de connaître l'extension de l'aquifère, la direction de la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines et le gradient hydraulique, ainsi que la zone d'accumulation.

Deux cartes piézométriques ont été réalisées pendant la période des basses eaux (Septembre 2014,) et la période des hautes eaux (Mars 2015) permettent de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines et l'alimentation de la nappe qui interviendra dans les calculs du bilan de la nappe.

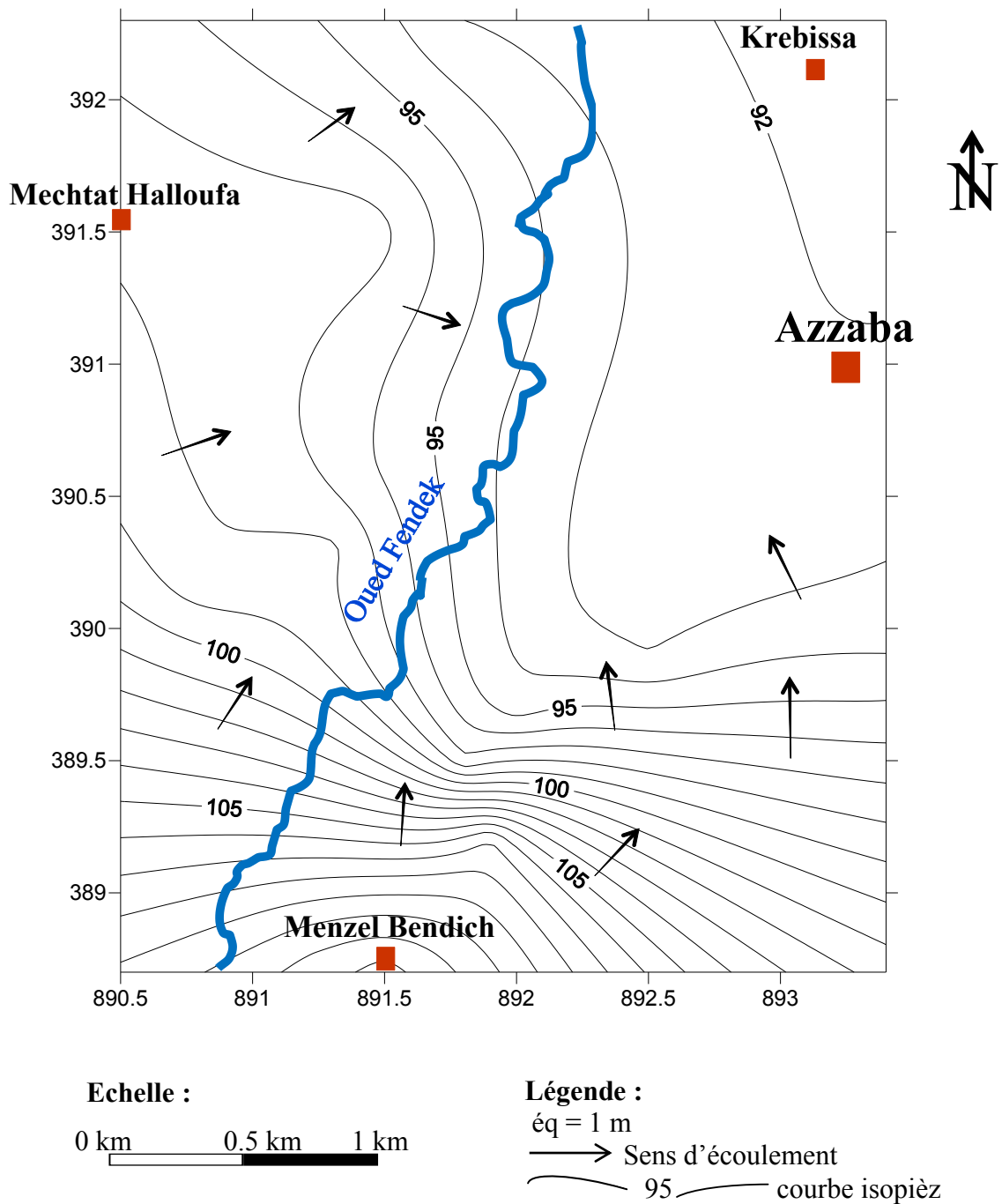


Figure 20 : Carte piézométrique Septembre 2014

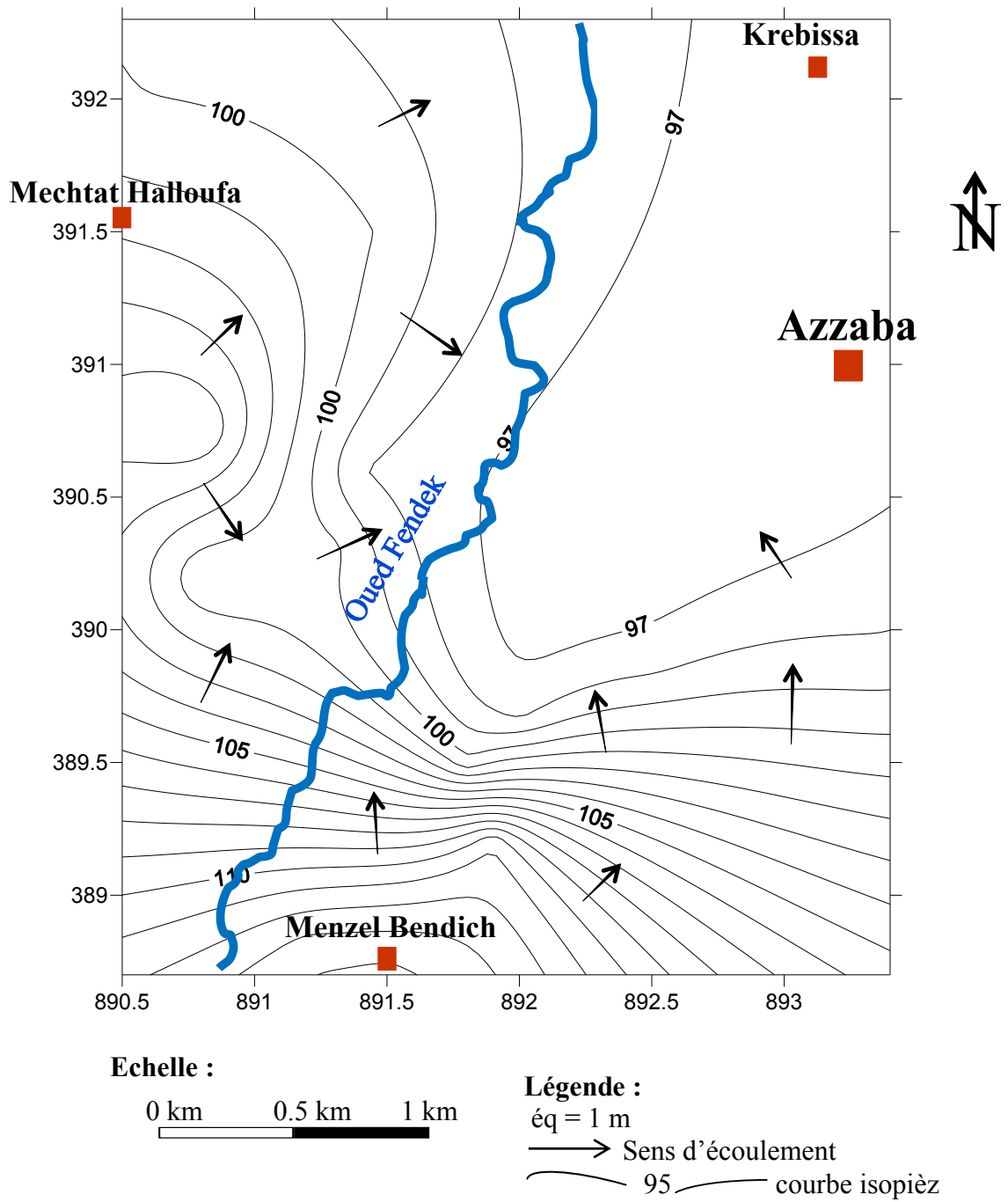


Figure 21 : Carte piézométrique Mars 2015

### **IV.1.3.3. Interprétation des cartes piézométriques :**

#### **❖ Carte du mois de Septembre 2014 :**

L'allure générale des courbes isopièzes montre que la nappe suit le modèle topographique (Figure 20). L'espacement des courbes augmente en allant du Sud de la nappe vers le Nord, se qui indique un écoulement rapide au sud et devient plus lent au Nord. L'écoulement se fait généralement suivant une direction Sud-Est vers le Nord-Ouest dans la partie Est de la carte et suivant une direction Sud-Ouest vers le Nord-Est dans la partie Ouest de la carte, les flèches montrant le sens d'écoulement sont orientées vers le cours d'eau de surface (oued Fendek), Cela indique que l'oued draine la nappe pendant la période sèche.

#### **❖ Carte du mois de Mars 2015 :**

La carte piézométrique de la campagne réalisée au mois de Mars 2015 (Figure 21), indique la même évolution que la précédente. L'allure générale des courbes isopièzes indique toujours que la nappe suit le modèle topographique. Les flèches indiquant le sens d'écoulement sont orientées vers le cours d'eau de surface (oued Fendek). L'espacement des courbes indique une perméabilité constante sauf au centre où les courbes se resserrent montrant des courbures dans le sens de l'écoulement ce phénomène est dû probablement à la nature géologique du terrain.

### **IV.1.4. Caractéristiques hydrodynamiques :**

#### **IV.1.4.1. Résultats des travaux des essais de pompage dans le complexe aquifère de l'Oligocène :**

(d'après Benhamza.M 2007)

Les valeurs de transmissivités calculées à partir des graphiques présentent beaucoup de différences et varient dans de larges limites, leurs valeurs maximales ( $10.9 - 7,04 \text{ m}^2/\text{j}$ ), les valeurs minimales ( $0,78 - 0,38 \text{ m}^2/\text{j}$ ). La valeur moyenne du coefficient de transmissivité d'eau est de  $3,6 \text{ m}^2/\text{j}$ .

Parfois la courbe de descente présente trois droites; c'est à dire trois valeurs de transmissivités. Ceci est dû à la présence de la tectonique et à la perméabilité des roches y compris l'écoulement fissural dans les grès et argiles compactes fissurées. On constate que les valeurs de transmissivités calculées à partir de la remontée sont très faibles, par rapport à celles de la descente, ceci est dû certainement à la perméabilité des roches; surtout l'infiltration verticale ( $K_v$  faible), sauf dans le cas des zones de broyages.

Pour les valeurs du coefficient d'emménagement calculées, elles correspondent à celles des nappes captives de l'ordre de  $10^{-4}$ , sauf pour deux sondages (d'après Benhamza.M) où nous avons des valeurs supérieures à  $2.10^{-2}$  égales à celles des nappes libres. Ceci est dû à la tectonique caractérisant

la région. Par contre les valeurs de ce coefficient sont très proches de la réalité en ce qui concerne la courbe de remontée.

#### **IV.1.4.2. Résultats des travaux des essais de pompage dans le Complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène : (d'après Benhamza.M 2007)**

Sur le plan hydrodynamique le complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène constitué par les roches fissurées et karstiques, représente un système hétérogène avec une (double porosité), c'est à dire un milieu irrégulier fissuré avec deux systèmes (et plus) de fissures différemment remplies ; le réseau dense de microfissures et de micro-cavernes de genèse différente, étant superposé à celui plus ou moins rares de fissures de cavernes et de karts plus grands.

Les valeurs des coefficients de transmissivité d'eau calculés d'après les données de pompage varient dans les limites de 6,3 à 7,0 m<sup>2</sup>/j (données de pompage) et de 4,6 à 6,6 m<sup>2</sup>/j (données de rétablissement). Ceci plaide en faveur du fait que les secteurs finaux des graphiques, utilisés pour les calculs, doivent être décrits par une équation Teiss-Jacob et sont représentatifs pour le traitement avec cette méthode. Les paramètres de transmissivités calculés peuvent être qualifiés comme authentiques, correspondant aux conditions naturelles.

Les valeurs de transmissivité calculées à partir de la courbe de descente sont un peu élevées par rapport à celles de la remontée, ceci est dû surtout à la présence d'une zone bréchique presque uniforme et homogène et ceci peut traduire la bonne alimentation verticale et horizontale ( $K_v < K_h$ ).

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement calculées à partir de la courbe de descente et remontée sont identiques à celle d'une nappe captive décrite par G.Castany 1982. Les coefficients d'emmagasinement varient de  $1,2 \cdot 10^{-3}$  à  $4,2 \cdot 10^{-5}$  et de  $0,7 \cdot 10^{-3}$  à  $3,5 \cdot 10^{-4}$  respectivement pour les données de pompage et de rétablissement (d'après Benhamza.M).

## **IV.2.Le système aquifère de la plaine de Guerbès :**

### **IV.2.1.Aperçue sur la plaine de Guerbès :**

Faisant partie des zones humides, la région côtière de Guerbès est caractérisée par un couvert végétal très dense. L'abondance des marécages et la nature géologique des formations caractérisées par une forte perméabilité (sable) font que cette région recèle un important gisement d'eau souterraine.

Le système aquifère de Guerbès, situé sur le bassin versant du côtier constantinois centre et constitue la principale ressource pour la population de la région.

### **IV.2.2.Identification des formations hydrogéologiques :**

La productivité en eau des formations géologiques est fortement conditionnée par la nature, la cohésion et la structure de la roche dans laquelle cette eau est stockée et circulée.

Pour déterminer la nature et l'emplacement des aquifères de la région, des coupes schématiques ont été réalisées dont les informations sont issues des données de forages combinées avec les données géophysiques. L'examen de ces coupes montre la présence d'un système d'aquifère constitué de plusieurs nappes :

Une nappe libre localisée au niveau des formations sableuses dont l'épaisseur varient entre 15 et 37 m ; surmontant une nappe profonde contenue dans les alluvions dont la puissance oscille entre 7 m et 50 m. L'ensemble des deux aquifères à nappe libre et captive se confondent vers l'Ouest de la plaine (Hadj-Said.S 2007).

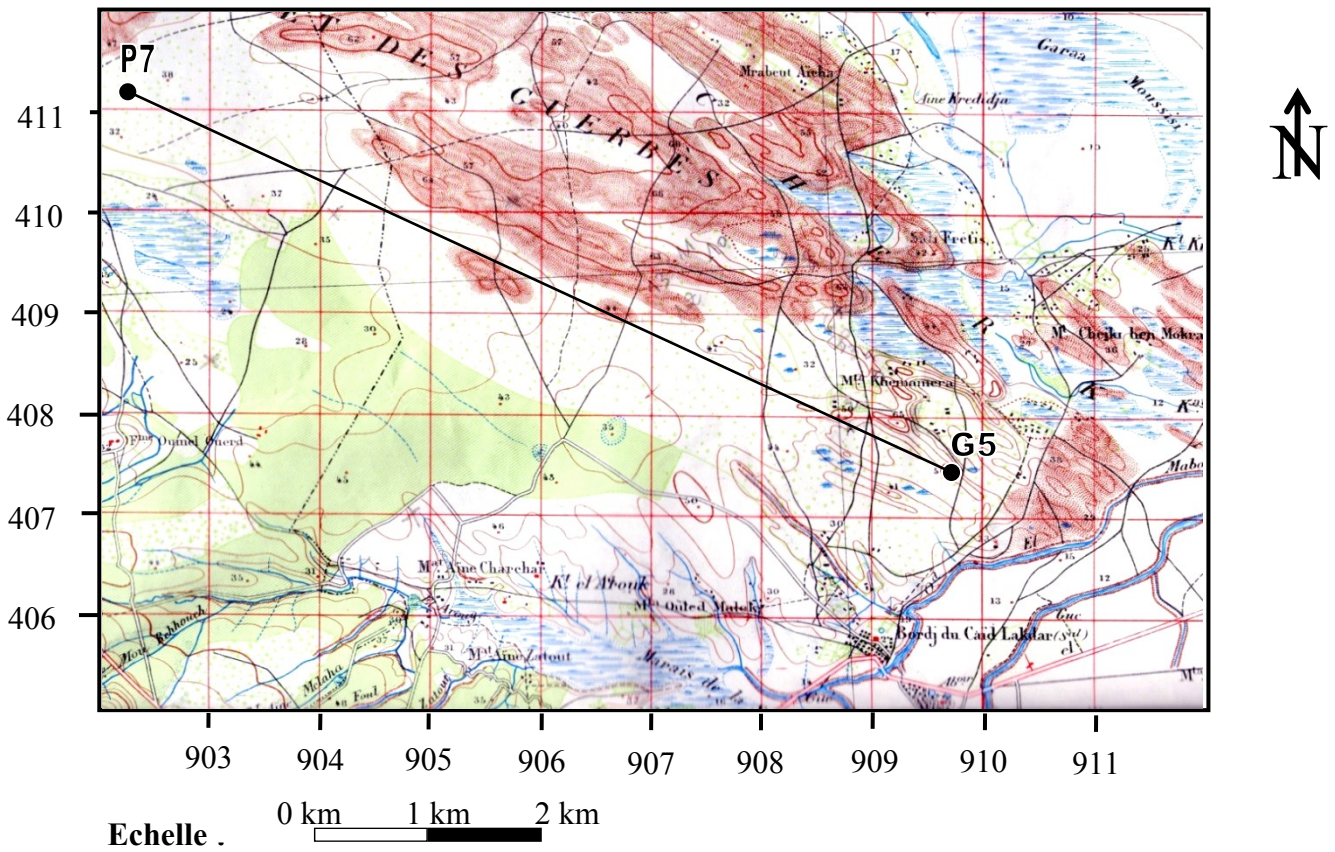
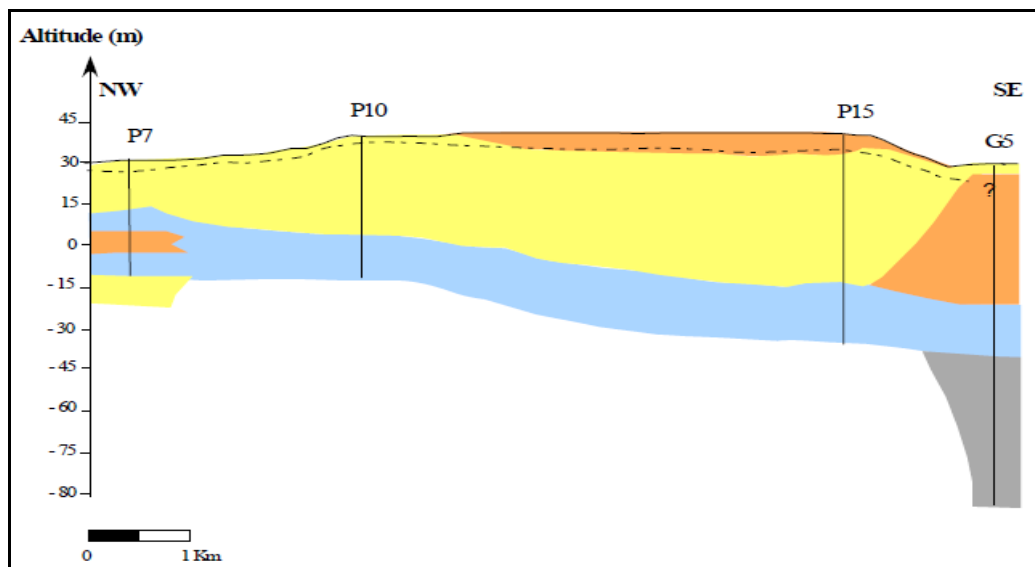






Figure 22 : Carte de situation de profil (d'après Hadj-Said.S 2007)



Légende

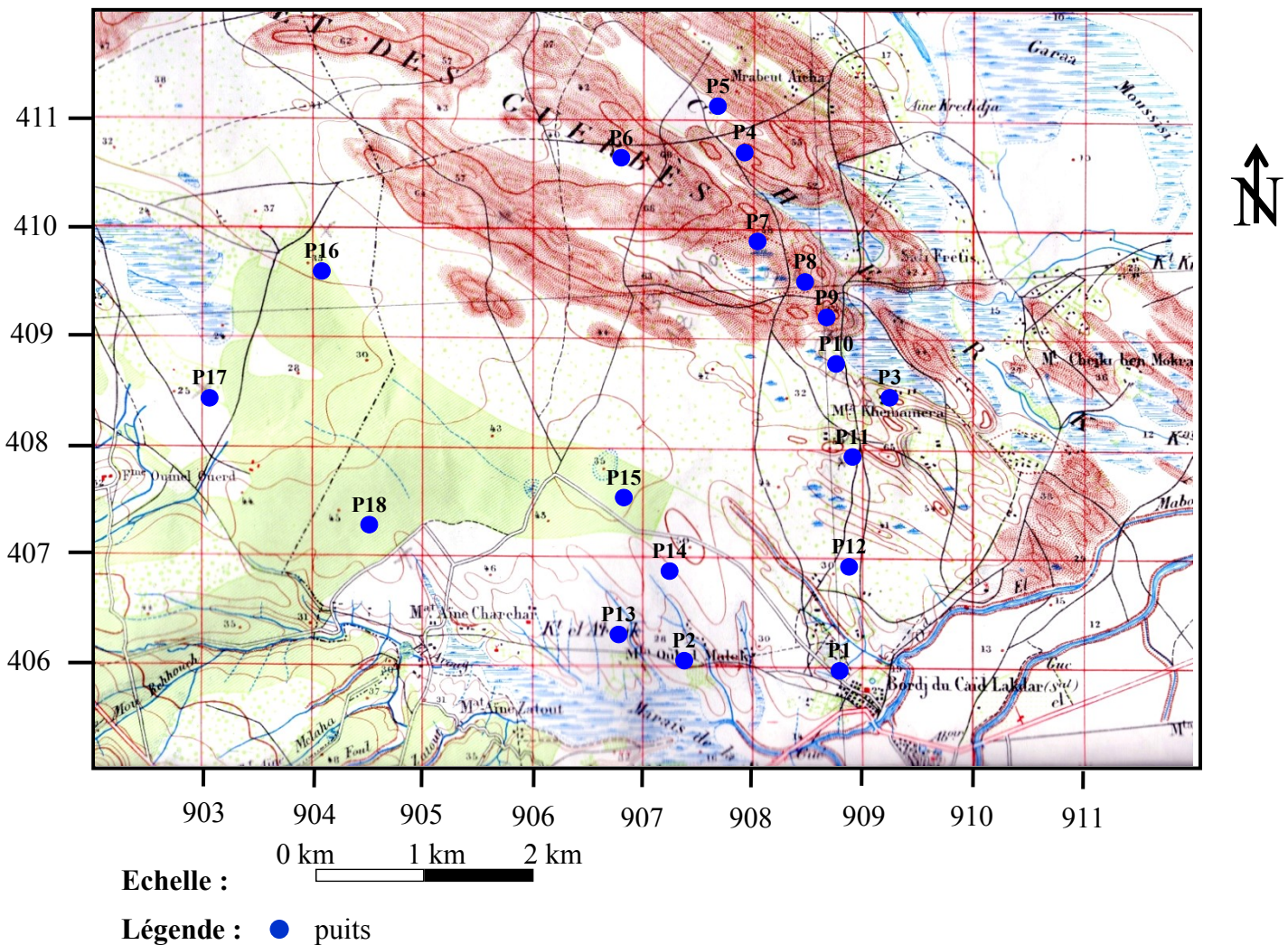
- |   |                     |   |                            |
|---|---------------------|---|----------------------------|
|  | Sable (Nappe libre) |  | Alluvions (Nappe profonde) |
|  | Sable argileux      |  | Marne                      |

**Figure 23 : Coupe hydrogéologique des aquifères de Guerbès  
(d'après Hadj-Said.S 2007)**

#### IV.2.3.Piézométrie :

##### IV.2.3.1.Inventaire des points d'eau :

Au total, le niveau piézométrique est mesuré en (18) points d'eau dans la plaine de Guerbès. La désignation de ces points de mesure est consignée dans la (Figure 24).



**Figure 24 : Carte d'inventaire des points d'eau**

##### IV.2.3.2.Cartes piézométriques :

Pour déterminer l'évolution du niveau d'eau dans la nappe, nous avons réalisé deux campagnes de mesures piézométriques (Septembre 2014 et Mars 2015), ce qui a permis la réalisation des cartes piézométriques relatives à chaque état. Chaque carte permet la détermination du sens de l'écoulement des eaux ainsi que le mode d'alimentation de la nappe. Les cartes établies concernent la nappe libre captée par les puits.

L'insuffisance et l'inaccessibilité des ouvrages profonds n'ont pas permis de tracer les cartes correspondant à ce niveau.

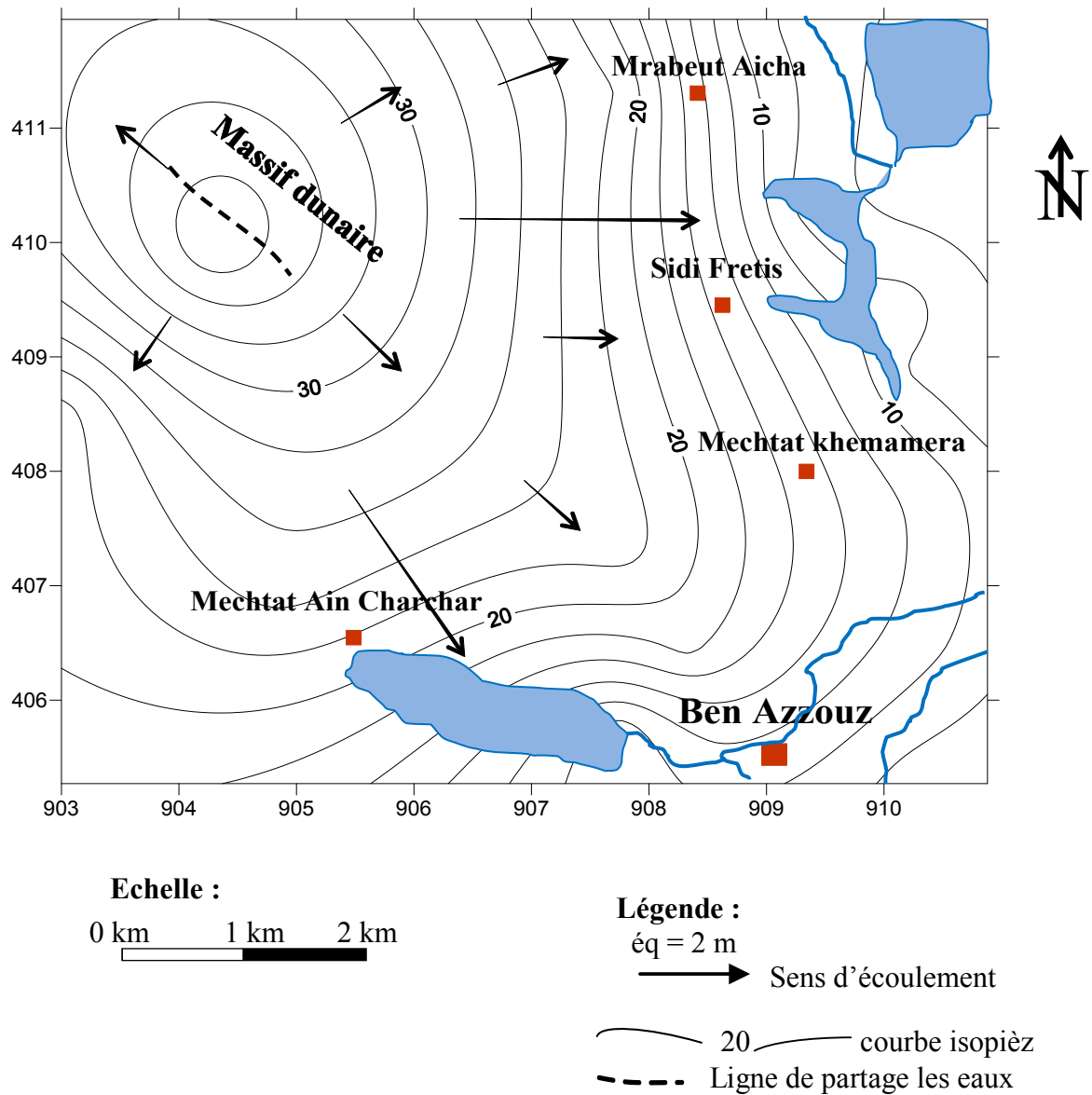


Figure 25 : Carte piézométrique Septembre 2014

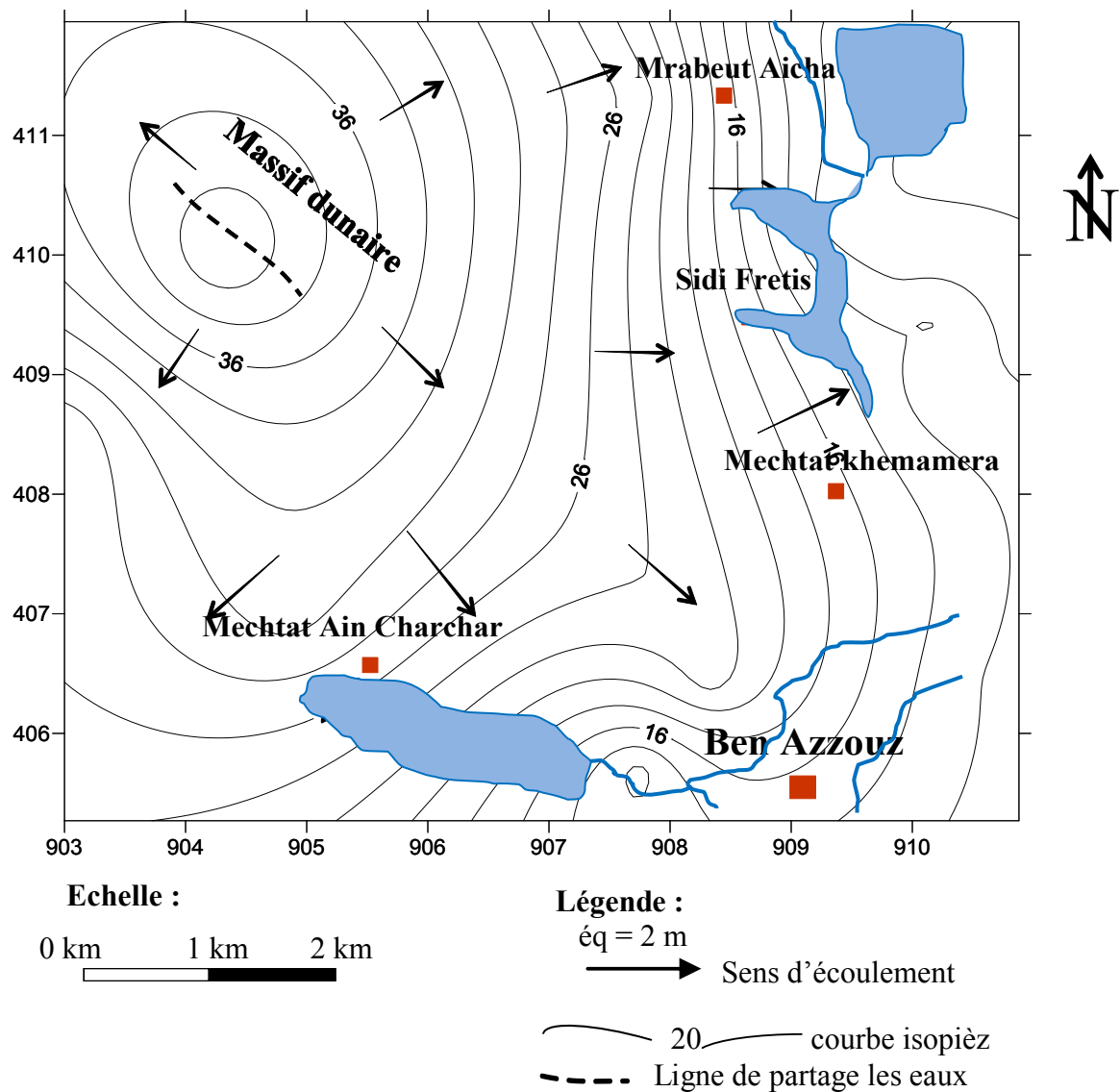


Figure 26 : Carte piézométrique Mars 2015

#### IV.2.3.3. Interprétation des cartes piézométriques :

##### ❖ Carte du mois de Septembre 2014 :

La carte piézométrique réalisée et observée (Figure 25) montre la présence d'un dôme piézométrique entraînant l'apparition d'une ligne de partage des eaux provoquant deux écoulements le premier dans la partie Ouest se fait vers la zone comprise entre les reliefs de bordure et la plaine, le second dans la partie Est mettant en évidence le drainage important, en effet les eaux sont récoltées par le cours d'eau et les marécages présents dans cette partie de la plaine.

##### ❖ Carte du mois de Mars 2015 :

La piézométrie de Mars 2015 (Figure 26), montre une situation analogue à la précédente, le dôme piézométrique constitue toujours une ligne de partage des eaux provoquant deux écoulements le

premier se faisant dans le sens nappe bordure ouest. L'autre localisé à l'Est indiquant une alimentation des marécages.

#### IV.2.4. Caractéristiques hydrodynamiques :

##### ❖ Méthode de Jacob :

La méthode de Jacob (Cooper et Jacob, 1946) s'appuie sur la formule de Theis; cependant les conditions de son application sont plus restrictives que celles de la méthode de Theis. Quand le temps de pompage augmente et par simplification le développement en série de l'équation de Theis se réduit à la formule de Jacob et s'écrit :

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 t_0 T}{x^2 S}$$

##### ❖ Mode opératoire :

- Porter les valeurs du rabattement "s" en fonction du temps correspondant "t" et tracer sur un papier semi-logarithmique la droite passant par les points obtenus (Figure 27).
- Prolonger la droite jusqu'à l'axe des temps où  $s = 0$ , et lire la valeur de  $t_0$ .
- Calculer la pente de la droite, c'est à dire la différence de rabattement  $\Delta S$  par cycle log de temps.
- Porter les valeurs de Q et de  $\Delta S$  dans l'équation et résoudre par rapport à T. Connaissant T et  $t_0$  calculer S à partir de l'équation :

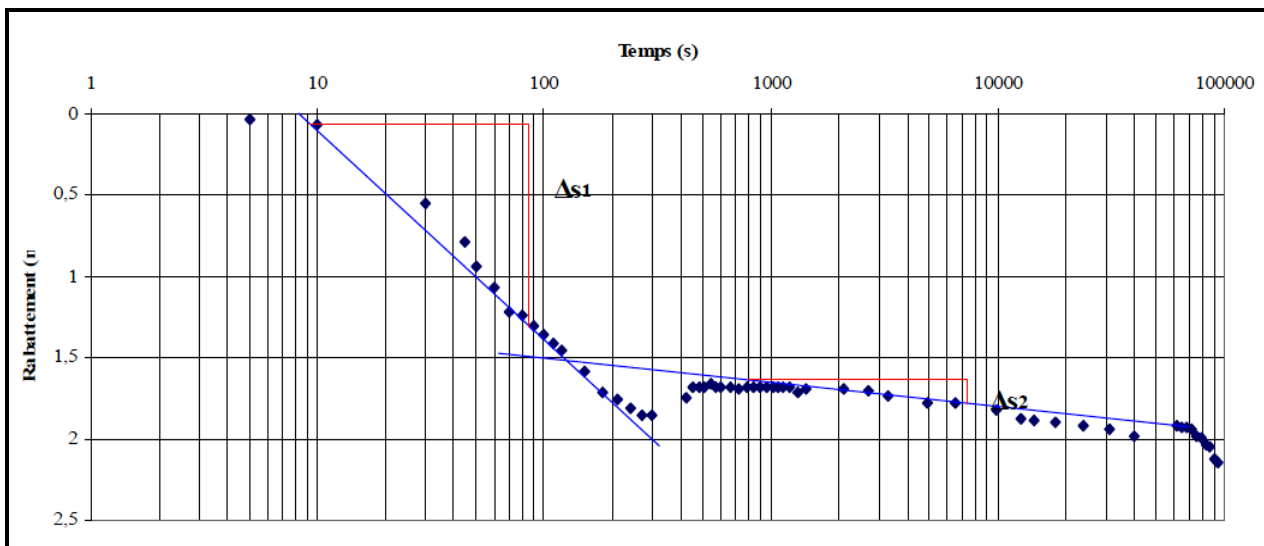
##### ❖ Application

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s_A} \qquad S = \frac{2,25 t_0 T}{x^2}$$

Cette méthode ayant été employée pour le forage G2 ( $x=902.150$ ,  $y=408.650$ ), elle a donnée les résultats suivants :

**Tableau 17 : Résultats des essais de pompage obtenus par la méthode de Jacob (d'après Hadj-Said.S 2007)**

Point d'eau	Q (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta s_1$ (m)	$\Delta s_2$ (m)	$T_1 10^{-3}$ (m <sup>2</sup> /s)	$T_2 10^{-3}$ (m <sup>2</sup> /s)
G2	$25 \cdot 10^{-4}$	1.26	0.14	0.36	3.27



**Figure 27 : Courbe interprétative d'essais de pompage du forage G2 (descente) par la méthode de Jacob (d'après Hadj-Said.S 2007)**

#### IV.3.Conclusion :

L'étude hydrogéologique qui a été faite dans la région Azzaba-Guerbès nous a permis de faire les conclusions suivantes :

La région d'Azzaba est caractérisée par deux complexes aquifères ayant des charges piézométriques très proches : le complexe aquifère des dépôts de l'Oligocène et celui du Paléocène-Eocène. Ces deux complexes sont séparés par les roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien. Sur les terrains avoisinants, situés au Nord Est, on trouve un autre horizon aquifère dans les alluvions récentes.

Pour la nappe Oligocène, d'après les données des pompages isolés les coefficients de transmissivité varient dans de larges limites, avec une valeur moyenne est de  $3,6 \text{ m}^2/\text{j}$ .

Pour les valeurs du coefficient d'emmagasinement calculées, elles correspondent à celles des nappes captives de l'ordre de  $10^{-4}$ , sauf pour deux sondages où nous avons des valeurs supérieures à  $2.10^{-2}$  égales à celles des nappes libres. Ceci est dû à la tectonique caractérisant la région.

Sur le plan hydrodynamique le complexe aquifère des dépôts du Paléocène-Eocène constitué par les roches fissurées et karstiques, représente un système hétérogène avec une (double porosité). Les coefficients de transmissivité d'eau calculés d'après les données de pompage et de rétablissement coïncident pratiquement. Les valeurs varient dans les limites de  $6,3$  à  $7,0 \text{ m}^2/\text{j}$  (données de pompage) et de  $4,6$  à  $6,6 \text{ m}^2/\text{j}$  (données de rétablissement). Les coefficients d'emmagasinement varient de  $1,2.10^{-3}$  à  $4,2.10^{-5}$  et de  $0,7.10^{-3}$  à  $3,5.10^{-4}$  respectivement pour les données de pompage et de rétablissement.

Deux cartes piézométriques ont été réalisées pendant la période des basses eaux (Septembre 2014,) et la période des hautes eaux (Mars 2015) permettent de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines et l'alimentation de la nappe

L'allure générale des courbes isopièzes dans les deux cartes montre que la nappe suit le modèle topographique. L'espacement des courbes augmente en allant du Sud de la nappe vers le Nord, ce qui indique un écoulement rapide au sud et devient plus lent au Nord. Les flèches montrant le sens d'écoulement sont orientées vers le cours d'eau de surface (oued Fendek).

La plaine côtière de Guerbès renferme un système d'aquifères ; il s'agit d'un aquifère essentiellement sableux qui abrite une nappe libre. Au-dessous, un deuxième aquifère alluvionnaire contenant une nappe profonde. L'ensemble des deux aquifères à nappe libre et captive se confondent vers l'Ouest de la plaine.

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe a été réalisée par l'emploi de la méthode de Jacob. Les résultats ont donné des transmissivités de l'ordre de  $0,36 \cdot 10^{-3}$  m/s et  $3,27 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s au niveau du massif dunaire. L'absence de piézomètres d'observation du niveau d'eau n'a pas permis le calcul du coefficient d'emménagement.

Les mesures piézométriques de la nappe libre ont permis l'établissement des cartes piézométriques. Celles-ci ont mis en évidence deux systèmes hydrogéologiques séparés par une ligne de partage des eaux souterraines. Un système oriental traduisant une zone de drainage par l'oued et les marécages, l'autre occidentale indique une zone d'alimentation.

# CHAPITRE

# V

## Aperçu hydro chimique

---

*Toute étude hydrogéologique doit être complétée par une étude hydro chimique qui permet de fournir de précieux renseignements, concernant l'aquifère, d'établir la relation géologie-chimie et de déterminer les différentes faciès chimiques des eaux à partir d'interprétation des analyses, afin de déterminer la qualité des eaux et leurs potabilités et l'établissement de la genèse ainsi que l'origine des éléments chimique.*

### **V.1. Le chimisme et la qualité des eaux dans la région Azzaba-Guerbès :**

L'eau, au contact des terrains qu'elle rencontre, se charge en divers éléments qui vont influencer sur sa qualité. Certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, et vont définir la qualité « naturelle » de l'eau brute. Ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir :

- des matières organiques,
- des matières dissoutes provenant des terrains traversés (calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures, métaux lourds, ...),
- des particules en suspension.

D'autres éléments sont d'origine anthropique. La qualité des eaux continentales est dépendante d'un certain nombre de paramètres, dont la quantité en présence (concentration en éléments traces) va définir l'état de la qualité de l'eau.

La vulnérabilité des eaux à la pollution anthropique dépend du type de nappe libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Les nappes libres sont les plus vulnérables. Les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique.

La protection de la nappe libre sera d'autant plus meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que la granulométrie est fine et que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible.

En revanche, les nappes captives sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur vulnérabilité vis-à-vis de la pollution se manifeste dans le cas où le niveau protecteur imperméable est foré par un ouvrage (cas de forage abandonné).

Pour cette étude de synthèse, et par manque de d'analyse récente couvrant la totalité du terrain d'étude, on a eu recours à des études anciennes qui ont été réalisées dans la région d'Azzaba et celle de Guerbès, pour une meilleure évaluation de la qualité des eaux superficielles et souterraines.

### **V.1.1. Qualité des eaux superficielles (oueds):**

#### **V.1.1.1. Oued Kébir Ouest (région de Guerbès) :**

Pour l'évaluation de la qualité des eaux, il existe plusieurs méthodes, parmi elles celle de l'indice de l'altération des eaux par les matières organiques et oxydables, qui est souvent utilisé pour les eaux superficielles.

Le niveau d'altération des eaux de l'oued Kébir Ouest est bien défini d'après le travail de synthèse qui a été fait par Ben Rabah.S (2006), mémoire de magister, intitulé : Etat actuel des ressources en eau dans la région de Skikda (Essai de synthèse).

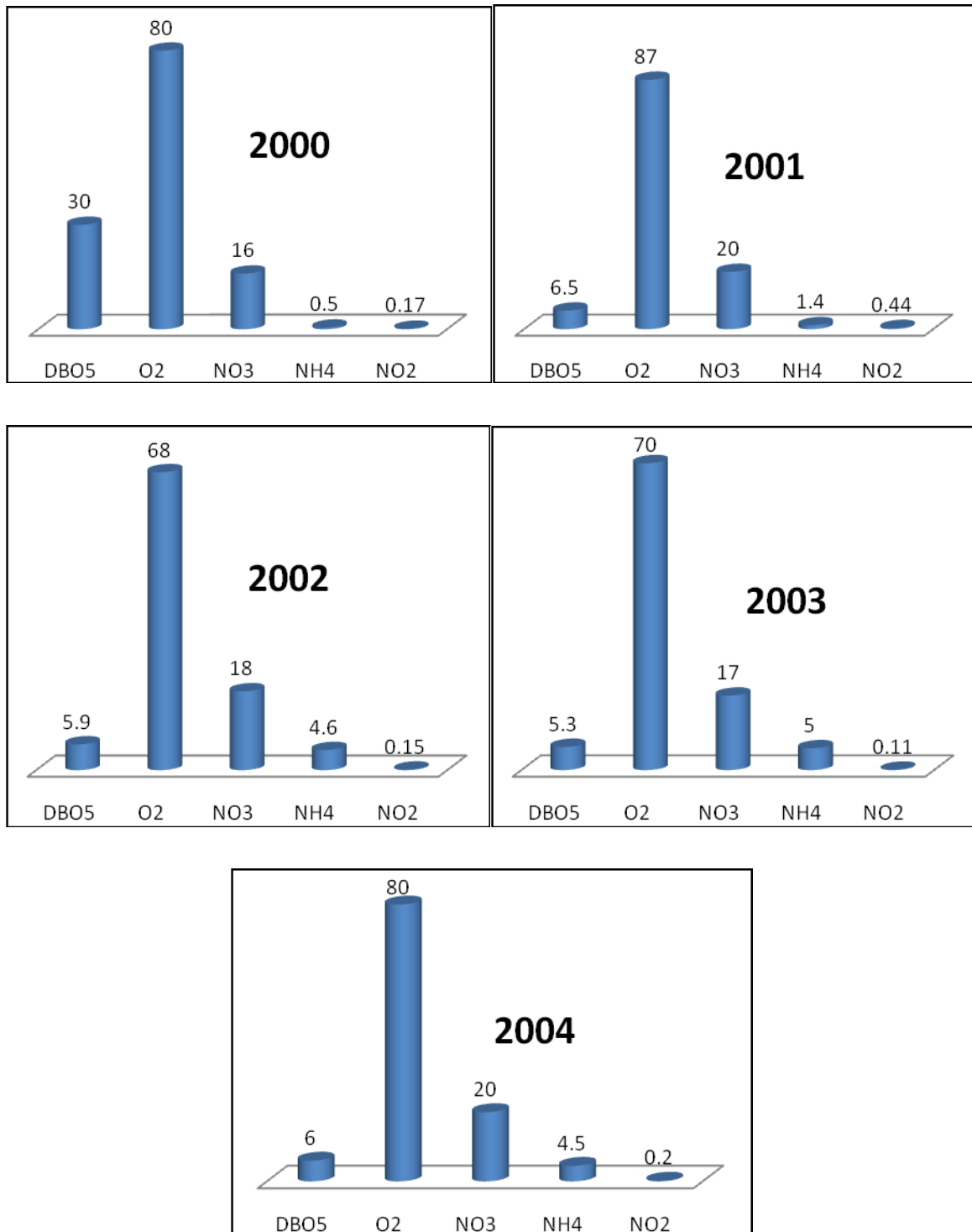
Les eaux de l'oued Kébir Ouest traversent les terrains formés de calcaires argileux riches en bicarbonates de sodium (massifs calcaires de djebel Safia), ce qui explique les concentrations élevées des bicarbonates ( $200 < \text{HCO}_3 < 400$  mg/l) et celles du sodium qui sont de 50 à 100 mg/l.

Ainsi que des terrains gréseux et sableux qui explique la dominance de Na Cl avec des concentrations de Na qui varient de 50 à 100 mg/l et celles des chlorures allant de 80 à 180 mg/l.

Après une observation de 15 années sur les résultats d'analyses faites sur les eaux de l'oued on a constaté que le faciès chimique dominant est bicarbonaté calcique avec un changement du faciès pendant trois ans en bicarbonaté sodique (Ben Rabah.S 2006).

#### **V.1.1.1.1. Evolution des éléments chimiques dans les eaux d'oued Kébir Ouest :**

En examinant les diagrammes de l'évolution des différents éléments chimiques (Figure 28) dans les eaux de l'oued Kébir Ouest, pendant une période de cinq années (2000/2004), on peut constater que les teneurs sont moyennement basses variant de 16 à 20 mg/l concernant les nitrates. Pour l'élément ammonium, on assiste à une augmentation des concentrations durant les trois dernières années d'observation (2002, 2003, 2004) variant d'une valeur minimale de 0.5 mg/l à une valeur maximale de 5 mg/l, pour ce qui est des nitrites, on assiste à une légère variation des concentrations de 0.11 mg/l à 0.44 mg/l au cours des cinq années d'observation.



**Figure 28: Variations des concentrations (en mg/l) de quelques éléments en relation avec la qualité des eaux de l’oued Kébir Ouest, dans le temps**

Pour le calcul de l'indice d'altération on a pris en considération que les trois paramètres : saturation en oxygène, ammonium, DBO<sub>5</sub>.

Cet indice s'exprime en pourcentage et prend des valeurs comprises entre 0 % (qualité la plus mauvaise) et 100 % (qualité la plus favorable).

Et suivant les normes de potabilité, cinq classes ont été définies permettant ainsi d'obtenir cinq niveaux d'altération (très bonne qualité, bonne, moyenne, mauvaise et très mauvaise), chaque un de ces niveaux correspond à une tranche de 20 % d'indice.

**Tableau 18 : Grille de qualité des eaux superficielles et leurs indices**

Paramètres	Unité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	> 8	6	4	3	< 3
O <sub>2</sub> (%)	%	90	70	50	30	< 30
DBO <sub>5</sub>	mg/l (O)	3	6	10	25	> 25
COT	mg/l (C)	5	7	8	12	> 12
DCO	mg/l	20	30	40	80	> 80
NH <sub>4</sub>	mg/l (N)	05	1.5	2.8	4	> 4
Indice	%	100/80	80/60	60/40	40/20	20/00

L'indice d'altération global des eaux de l'oued Kébir Ouest est de 18 %, ce qui les met dans la quatrième classe avec une qualité mauvaise (Ben Rabah.S 2006).

#### **V.1.1.1.2. Evolution annuelle des sels minéraux dans les eaux d'oued Kébir Ouest :**

Cette altération est prise en compte pour le classement synthétique et pour les usages production d'eau potable et irrigation.

La minéralisation correspond à la quantité de sels minéraux contenus dans l'eau. Elle est évaluée à partir des paramètres suivants : chlorures, sulfates, dureté de l'eau, calcium, magnésium, potassium, sodium... La présence de minéraux dans les eaux souterraines est souvent d'origine naturelle (lithologie), mais en excès dans les eaux de surface, ils peuvent provenir de l'extérieur (invasion marine, rejets industriels et urbains).

Naturellement les eaux de surface sont moins chargées en sels minéraux que les eaux souterraines de la même région.

Les eaux de l'oued Kébir Ouest ont des teneurs moyennes en substances minérales cationiques (Ca, Mg, Na) avec des concentrations qui ne dépassent pas 100 mg/l.

Pour le cas du Potassium qui provient essentiellement des engrais les concentrations peuvent atteindre 10 mg/l.

La teneur en chlorures et en sulfates ne dépasse pas 200 mg/l.

La conductivité qui nous donne une idée sur la minéralisation générale de l'eau est variable de 900 à 1500  $\mu\text{s/cm}$

#### **V.1.1.1.3. Evolution annuelle des particules en suspension dans les eaux d'oued Kébir Ouest :**

L'altération est définie par la turbidité (l'aspect trouble de l'eau), elle-même liée soit à la présence de fer et manganèse, qui peut être une altération à elle seule, soit à la présence de matières en suspension (MES).

Ces matières en suspension, constituées de micro particules (argiles, plancton...) proviennent le plus souvent des eaux de ruissellement.

D'une manière générale les eaux d'oued Kébir est trouble avec une turbidité qui peut atteindre 30 NTU.

Cette augmentation est due d'une part à la présence des particules en suspension (argiles...) avec des valeurs de 10 à 120 mg/l et d'autre part à la présence du fer et du manganèse avec des concentrations du fer qui peuvent atteindre 1.50 mg/l et le manganèse de 0.10 à 0.50 mg/l.

### V.1.1.2.Oued Fendek (région d'Azzaba) :

Des résultats d'analyse sur trois points de prélèvement dans l'oued Fendek ont été exploités (Daifflah.T 2008).

#### V.1.1.2.1.Formule ionique et faciès chimique :

Les faciès chimiques des eaux de surface prélevées dans l'oued Fendek sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 19 : Formule ionique et faciès chimique des eaux d'oued Fendek**

N°	Désignation	Formule ionique des eaux de surface	Faciès chimique
1	Oued Fendek Amont	$rCl^-$ , $rSO_4^{2-}$ , $rHCO_3^-$ , $rCa^{2+}$ , $rMg^{2+}$ , $rNa^+$ , $rK^+$	Chloruré calcique
2	Oued Fendek Aval 2	$rCl^-$ , $rSO_4^{2-}$ , $rHCO_3^-$ , $rCa^{2+}$ , $rMg^{2+}$ , $rNa^+$ , $rK^+$	Chloruré calcique
3	Oued Fendek Aval 1	$rCl^-$ , $rSO_4^{2-}$ , $rHCO_3^-$ , $rCa^{2+}$ , $rNa^+$ , $rMg^{2+}$ , $rK^+$	Chloruré calcique

Après l'observation sur les résultats d'analyses qui ont été faites sur les eaux de l'oued on a constaté que le faciès chimique dominant est Chloruré calcique.

#### V.1.1.3.Diagramme de Wilcox :( Aptitude des eaux à l'irrigation)

Le S.A.R (sodium absorption ration) est donné par la formule suivante :

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

$Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$  sont exprimés en méq/l

Les valeurs du S.A.R sont réparties en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, elle permet une estimation de la minéralisation des eaux, cette dernière est exprimé en  $\mu s/cm$ .

**Tableau 20 : Classification des eaux par leur degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R**

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1 <sup>ère</sup>	Excellent	C1-S1	Eau, utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des sols
2 <sup>ème</sup>	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisé sans contrôle particulière pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes en sels
3 <sup>ème</sup>	Admissible	C3-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4 <sup>ème</sup>	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C4-S3	En générale, eau fortement minéralisée pouvant convenir à irrigation de certaine espèce bien tolérante en sel sur des sols bien drainé est lessive
5 <sup>ème</sup>	Mauvaise	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Eau ne convenant pas à l'irrigation, mais pouvant être sous certaines conditions, sols très perméables

L'observation de diagramme de Wilcox fait ressortir des classes suivantes :

- ✓ C3-S1 : cette classe représente en général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée (représentant 87.5 %).
- ✓ C4-S1 : cette classe représente en générale, eau fortement minéralisée pouvant convenir à irrigation de certaine espèce bien tolérante en sel sur des sols bien drainé est lessive (représentant 12.5 %).

#### **V.1.1.4. Le risque de la salinité :**

Si l'eau d'irrigation est chargée de sodium Na, le nombre d'ions Na<sup>+</sup> combine avec le sol augmente, provoquant une dégradation de la structure avec un gonflement des argiles ce qu'il rend le milieu imperméable et cette dernière influe directement sur le développement des plantes et le rend très faible ou nul.

Pour estimer les valeurs du Na % en eau d'irrigation, on utilise la formule de Wilcox :

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

Les concentrations sont exprimées en méq/l.

Le report du pourcentage de sodium (Na %) et de la concentration électrique sur le diagramme de Wilcox, nous permet de déterminer le risque de salinité des eaux dans la zone d'étude (région d'Azzaba).

D'après le résultat de diagramme de Wilcox, les eaux qui représentent oued Fendek sont admissibles.

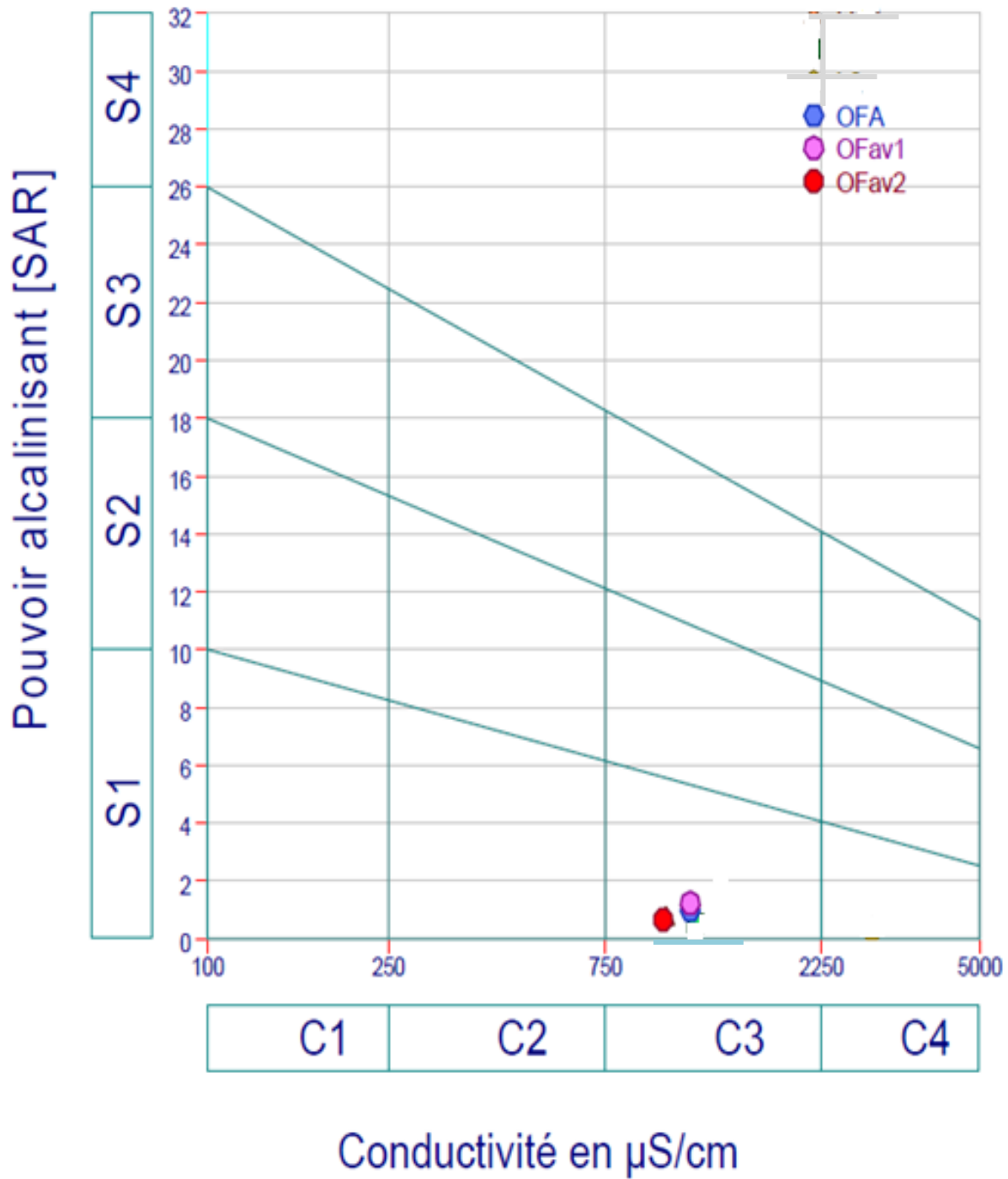


Figure 29 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Wilcox

## **V.1.2. Qualité des eaux souterraines :**

### **V.1.2.1. Qualité des eaux souterraine dans la région d'Azzaba :**

Dans la région d'Azzaba les prélèvements d'eau sont fait sur 12 puits, dont les points étudiés ont été choisis de façons à ce que tous les puits avoisinants l'oued Fendek ( les puits P1, P2, P3, P5, P9, P10, P11 : localisent au Sud de la plaine d'Azzaba, le long de oued Fendek et sur les deux flanc Est et Ouest de l'oued ; et les puits P4, P6, P7, P8 :se situe dans la partie centrale de la plaine d'Azzaba, sur le flanc Ouest de oued Fendek.

Les échantillons d'eau ont été analysés par le laboratoire central du CP1K (ENIP Skikda), en Mars 2007 d'après Heouaine.A, Tatat.N, mémoire d'ingénieur, intitulé : Qualité des eaux superficielles et souterraines de la région d'Azzaba-Relation entre minéraux et solutions.

Les paramètres physiques et chimiques étudiés sont :

- ❖ Les paramètres physiques (température, PH, conductivité électrique), mesurés in situ.
- ❖ Les paramètres chimiques correspondant aux éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ).

#### **V.1.2.1.1. Formule ionique et faciès chimique :**

La formule ionique s'obtient en classant de gauche à droite par ordre décroissant, les quantités en réactions en (még/l), des anions puis celle des cations celle-ci nous permet :

- de comparer la composition chimique de l'eau avec les caractéristiques physico- chimiques du réservoir en relation avec sa lithologie.
- de classer les eaux de même origine.

La vérification des analyses chimiques a été faite par la balance ionique, qui a été satisfaisante pour les (12) analyses.

Les formules ioniques (tableau 21) nous donnent deux faciès chimiques pour les eaux souterraines analysées.

Le faciès sulfaté sodique représentant 83 %, et le faciès sulfaté magnésien 17 %.

Tableau 21 : Formules ioniques et faciès chimiques

N° du puits	Formule ionique	Faciès chimique
1	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
2	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
3	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
4	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
5	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
6	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{Cl}^-, r\text{HCO}_3^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
7	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
8	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
9	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
10	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{Cl}^-, r\text{HCO}_3^-, r\text{Mg}^{2+}, r\text{Ca}^{2+}, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté magnésien
11	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{Cl}^-, r\text{HCO}_3^-, r\text{Mg}^{2+}, r\text{Ca}^{2+}, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté magnésien
12	$r\text{SO}_4^{2-}, r\text{HCO}_3^-, r\text{Cl}^-, r(\text{Na}^+ + \text{K}^+), r\text{Ca}^{2+}, r\text{Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique

#### V.1.2.1.2.Représentation graphique des analyses chimiques :

Pour bien visualiser les résultats des analyses chimiques effectués sur les eaux souterraines, il est trouver utile de faire la représentation selon Piper.

##### ❖ Diagramme de Piper :

Le diagramme est bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillon. En plus le diagramme met en évidence l'évolution et le changement du faciès chimique.

Néanmoins, il présente un risque d'erreur qui réside dans la comparaison des échantillons, du fait que la représentation des analyses sur ce diagramme est faite en pour cent (%).

Sur la figure représentant le diagramme de Piper, on voit que 10 puits sont sulfaté sodique, et 02 sont sulfaté magnésien.

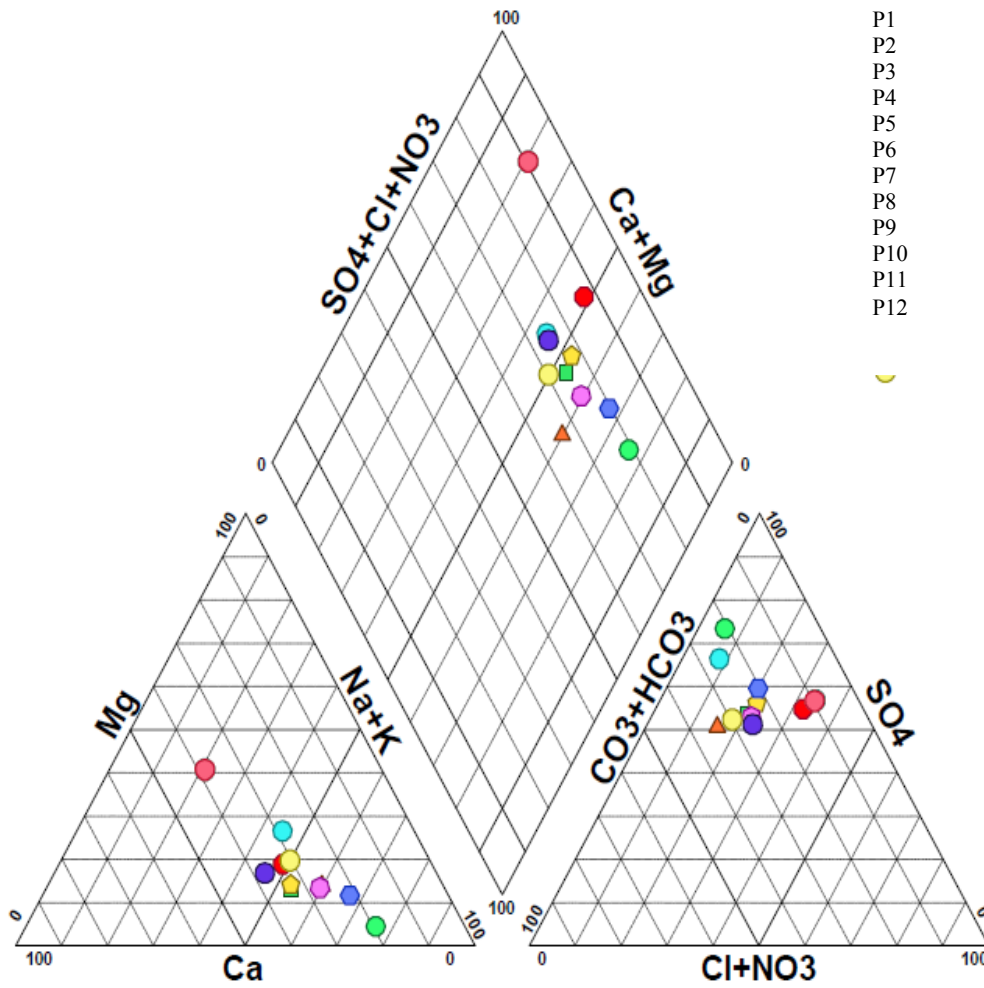


Figure 30 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper

### V.1.2.1.3. Normes et qualités des eaux :

Dans le but de faire une approche qualitative des résultats des analyses effectuées, on a procédé à des normes de classification pour chacun des paramètres suivant : les chlorures, le magnésium, la dureté totale, la conductivité électrique et le résidu sec.

#### V.1.2.1.3.1. Chlorures :

La présence des chlorures dans les eaux est due le plus souvent à la nature des terrains traversés (géologie) et peuvent être aussi un signe de pollution (pollution de surface).

**Tableau 22 : Zonalité et norme pour les chlorures**

Chlorure (mg/l)	Type d'eau	Puits correspondants
0-200	Bonne	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P12
> 200	Médiocre	P6, P9, P10, P11

Dans le tableau 22 représentant les normes et les zonalités pour les chlorures, on constate que 08 puits représentent une eau de bonne qualité avec des teneurs en chlorures inférieure à 200 mg/l, et 04 puits représentent des eaux de qualité médiocre avec des teneurs en chlorure supérieures à 200 mg/l.

#### V.1.2.1.3.2. Magnésium :

Le magnésium peut avoir comme origine les oxydes de magnésium ou de la magnétite. Il peut aussi être trouvé en abondance dans les roches carbonatées. Les normes et les zonalités concernant cet élément sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 23 : Zonalité et norme pour le magnésium**

Magnésium (mg/l)	Type d'eau	Puits correspondants
< 50	1 <sup>ère</sup> qualité	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P12
50-100	2 <sup>ème</sup> qualité	P6, P9
> 50	3 <sup>ème</sup> qualité	P10, P11

Dans le tableau 23 : 08 puits représentent des eaux de 1<sup>ère</sup> qualité où la teneur en magnésium est inférieure à 50mg/l, et 02 puits correspondent à des eaux de 2<sup>ème</sup> qualité où la teneur en

magnésium est comprise entre 50 et 100 mg/l, et 02 puits représentent des eaux de 3<sup>er</sup> qualité avec des teneurs en magnésium supérieures à 100 mg/l.

#### V.1.2.1.3.3.Dureté totale (TH) :

La dureté d'une eau est due principalement à la présence de calcium et de magnésium. On l'exprime en général en degré français (°F).

Par rapport à la dureté des eaux de la région, on a considéré les normes et les zonalités comme suite :

**Tableau 24 : Zonalités et normes pour la dureté totale**

Dureté totale (TH) (°F)	Type d'eau	Puits correspondants
20-30	Eau Assez douce	P4, P7, P8
30-50	Eau dure	P12
> 50	Eau très dure	P1, P2, P3, P5, P6, P9, P10, P11

Le tableau 24 montre que 03 puits représentent une eau de qualité assez douce, 01 puits caractérisé par une eau dure et 08 puits représentent des eaux très dures.

#### V.1.2.1.3.4.Conductivité électrique :

Il ya une relation entre la conductivité et la salinité de l'eau : 1ppm = 1.56 µs/cm

Par rapport à la conductivité la minéralisation de l'eau a été considéré de la façon suivante :

**Tableau 25 : Zonalités et normes pour la dureté totale**

Conductivité électrique (µs/cm)	Type d'eau	Puits correspondants
< 600	Eau de minéralisation moyenne	P3, P4, P6, P7, P8
600-1000	Eau de minéralisation importante	P1, P2, P5, P11, P12
> 1000	Eau de minéralisation excessive	P9, P10

Le tableau 25 montre que 05 puits sont caractérisés par une eau de minéralisation moyenne, 05 puits caractérisé par une eau de minéralisation importante et 02 puits sont caractérisés par une eau de minéralisation excessive.

#### V.1.2.1.3.5. Résidu sec :

Exprimé en mg/l, le résidu sec représente la totalité des sels dissous. Il est obtenu par desséchassions de l'eau à 180 °C, le résidu sec calciné est obtenu par calcination à 180 °C.

Le résidu sec est ainsi une donnée sur la minéralisation totale d'une eau. Il est lié étroitement à la résistivité.

Les normes et les zonalités concernant cet élément sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 26 : Zonalités et normes du résidu sec**

Extrait sec à 180 °C (mg/l)	Type d'eau	Puits correspondants
< 500	Eau faiblement minéralisée	P4, P7, P8
500-1000	Eau moyennement minéralisée	P1, P2, P3, P5, P11, P12
1000-1500	Eau minéralisée	P9
> 1500	Eau très fortement minéralisée	P6, P10

Le tableau 26 montre que 03 puits sont caractérisés par une eau faiblement minéralisée, 06 puits caractérisé par une eau moyennement minéralisée, 01 puits est caractérisé par une eau minéralisée et 02 puits sont caractérisés par une eau très fortement minéralisée.

#### V.1.2.1.3.6. Teneurs en micropolluants métalliques:

Cette étude a été faite par Benhamza.M, thèse de doctorat 2007, intitulée : Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba) - détermination du degré de pollution.

Les résultats des analyses des micropolluants métalliques montrent des teneurs élevées en mercure (Hg) et en plomb (Pb). Pour le mercure les valeurs excessivement élevées de l'ordre de 80 µg/l sont localisées dans trois forages captant l'Oligocène ainsi que une source. Il en est de même pour le plomb où les teneurs varient de 60 à 80 µg /l. Ces valeurs sont très élevées conformément aux normes pour le Hg et le Pb qui sont respectivement de 1µg/l et de 50 µg/l (Benhamza.M 2007).

Sur la totalité des points analysés, seul le un forage captant la nappe profonde Paléocène-Eocène présente la teneur minimale en Hg de 1µg/l.

La contamination des eaux de la nappe Oligocène par le Hg et le Pb est donc largement supérieure à celle du Paléocène-Eocène, elle n'est donc pas due au lessivage des formations géologiques,

sachant que le Hg et le Pb dans la région d'étude ont des coefficients de migration faibles à moyens et que les faciès présentant des Clarke élevés en Hg sont localisés dans la nappe Paléocène-Eocène (Benhamza.M 2007).

Les travaux effectués dans la région ont montré que l'usine de Hg présente une double pollution atmosphérique et hydrique, en effet une partie des teneurs en mercure résulte du recyclage par les pluies du Hg atmosphérique dégagé par l'usine et la grande partie provient des rejets hydriques de cette dernière. L'usine de mercure dispose de deux lacs de décantations non aménagés où sont déversées les eaux de refroidissement du processus contaminées par le mercure. Lors des crues en périodes hivernales les eaux débordent les deux lacs et se déversent dans le réseau hydrographique et notamment dans le principal Oued de la région (Oued Fendek) qui alimente la nappe phréatique Oligocène présentant un toit gréseux perméable.

#### **V.1.2.1.3.Diagramme de Wilcox :( Aptitude des eaux à l'irrigation)**

La région d'Azzaba est à vocation agricole ce qui nous a amené à s'intéresser à l'utilisation des eaux pour l'irrigation, nous avons utilisé le diagramme de Wilcox (Figure 31).

Le S.A.R (sodium absorption ration) est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{S.A.R} = \frac{\mathbf{Na}}{\sqrt{(\mathbf{Ca} + \mathbf{Mg})/2}}$$

Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et Ca<sup>2+</sup> sont exprimés en méq/l

Les valeurs du S.A.R sont réparties en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, elle permet une estimation de la minéralisation des eaux, cette dernière est exprimé en µs/cm.

**Tableau 27 : Classification des eaux par leur degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R**

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1 <sup>ère</sup>	Excellent	C1-S1	Eau, utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des sols
2 <sup>ème</sup>	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisé sans contrôle particulière pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes en sels
3 <sup>ème</sup>	Admissible	C3-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4 <sup>ème</sup>	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C4-S3	En générale, eau fortement minéralisée pouvant convenir à irrigation de certaine espèce bien tolérante en sel sur des sols bien drainé est lessive
5 <sup>ème</sup>	Mauvaise	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Eau ne convenant pas à l'irrigation, mais pouvant être sous certaines conditions, sols très perméables

L'observation de diagramme de Wilcox (Figure 31) fait ressortir des classes suivantes :

- ✓ C1-S1 : cette classe représente une eau d'excellente qualité pour l'irrigation (représentant 25 %).
- ✓ C2-S1 : cette classe représente une eau de bonne qualité pour l'irrigation (représentant 8.33 %).
- ✓ C3-S1 : cette classe représente une eau admissible à l'irrigation (représentant 66.67%).

**Tableau 28 : Classification des puits d'après Wilcox**

<b>Classe</b>	<b>N° du puits</b>
<b>C1-S1</b>	<b>P3, P7, P8</b>
<b>C2-S1</b>	<b>P4</b>
<b>C3-S1</b>	<b>P1, P2, P5, P6, P9, P10, P11, P12</b>

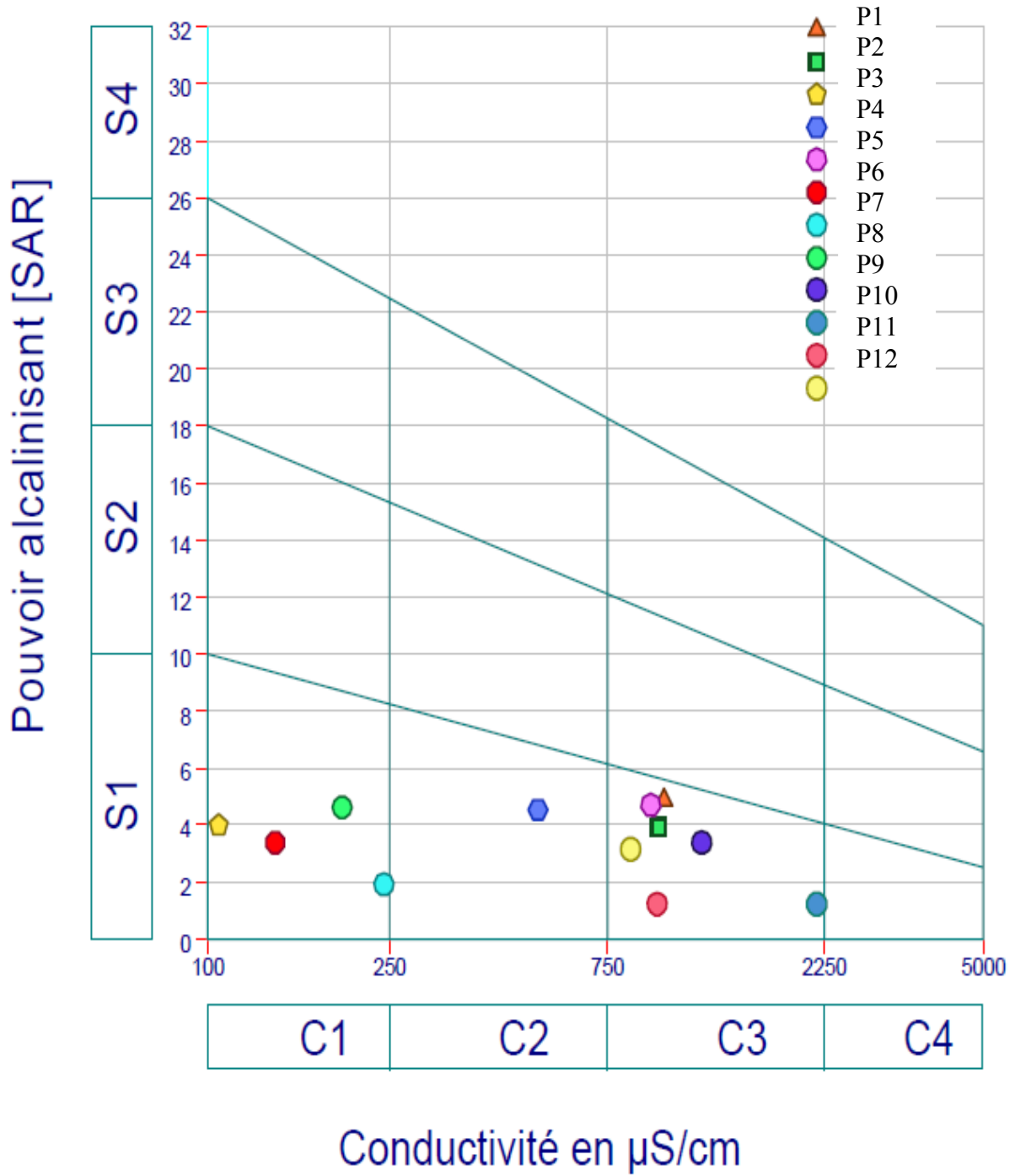


Figure 31 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Wilcox

### **V.1.2.2. Qualité des eaux souterraine dans la région de Guerbès :**

Les eaux de la plaine de Guerbès située en région côtière seront vraisemblablement influencées par la mer. Les formations géologique au travers desquelles, elles circulent ou dans lesquelles elles séjournent influencent également la composition chimique des eaux.

L'activité anthropique caractérisée par une agriculture intense peut entraîner également une dégradation de la qualité des eaux causée par l'utilisation massive des engrais. Le but recherché par ce travail qui a été fait par Hadj Said.S (2007) est la détermination de la qualité des eaux.

#### **V.1.2.2.1. Faciès chimique :**

Les études effectuées dans la région de Guerbès ont déterminé que le faciès chimique dominant des eaux souterraine de la région de Guerbès est bicarbonaté calcique en période des hautes eaux provenant certainement des formations de la chaîne calcaire de Djebel Safia (Calcaire du Miocène inférieur), et chloruré sodique en période des basses eaux qui peut s'expliquer par l'enrichissement par les chlorures après leurs passage par des formations telles que alluvions et sables.

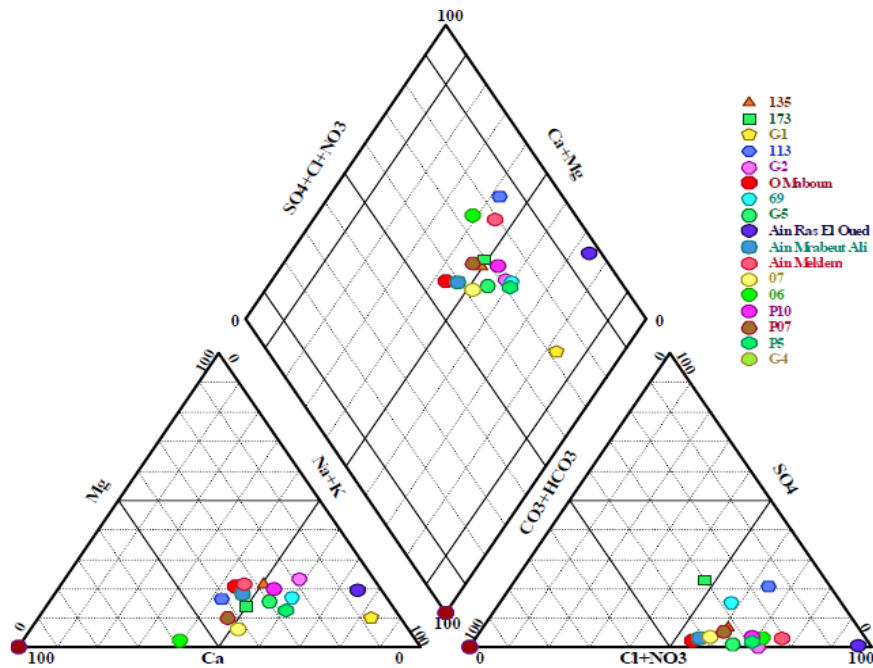


Figure 32 : Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du massif dunaire de Guerbès sur de Diagramme de Piper (d'après Ben Rabah.S 2006)

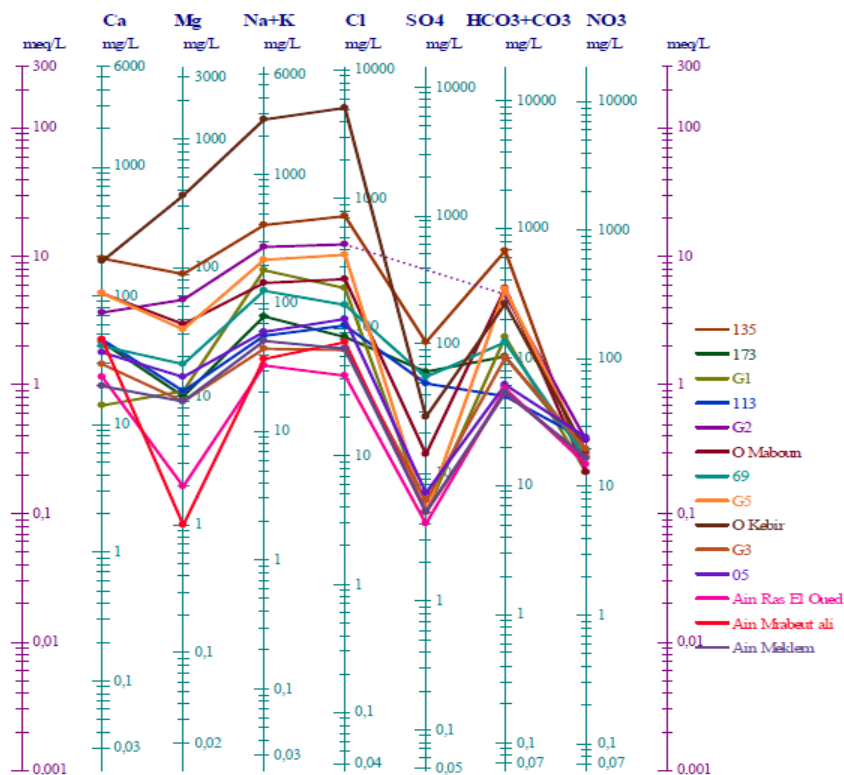


Figure 33 : Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du massif dunaire de Guerbès sur le Diagramme de Scholler-Berkaloff (d'après Ben Rabah.S 2006)

#### **V.1.2.2.2. Qualité de l'eau :**

L'établissement de la carte de vulnérabilité a permis la localisation des zones sensibles à la pollution, elle repose sur le calcul d'un indice de contamination des eaux correspondant à cinq classes d'altération (Hadj Said.S 2007), (Figure 34).

Les paramètres utilisés pour le calcul de l'indice de contamination des eaux de la nappe du massif dunaire sont : NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, CL, Na+K.

On remarque que les zones les plus vulnérables à la pollution sont celles avec un indice de contamination le plus élevé localisées comme c'est montré sur la carte qui suit (Figure 35, 36).

Les différentes zones de vulnérabilité à la pollution sont :

- zone à forte vulnérabilité au sud de Sidi Lakhdar et Ain Charchar ( $12 < Ic < 14$ ).
- une zone à moyenne vulnérabilité qui correspond à presque toute la région avec un indice de ( $8 < Ic < 12$ ).
- une zone à faible vulnérabilité qui correspond à la région Ouest de Guerbès ( $Ic < 8$ ).

La grande vulnérabilité de la région de Sidi Lakhdar est due à la porosité de son sol qui est de 40.80 %. (Figure 36).

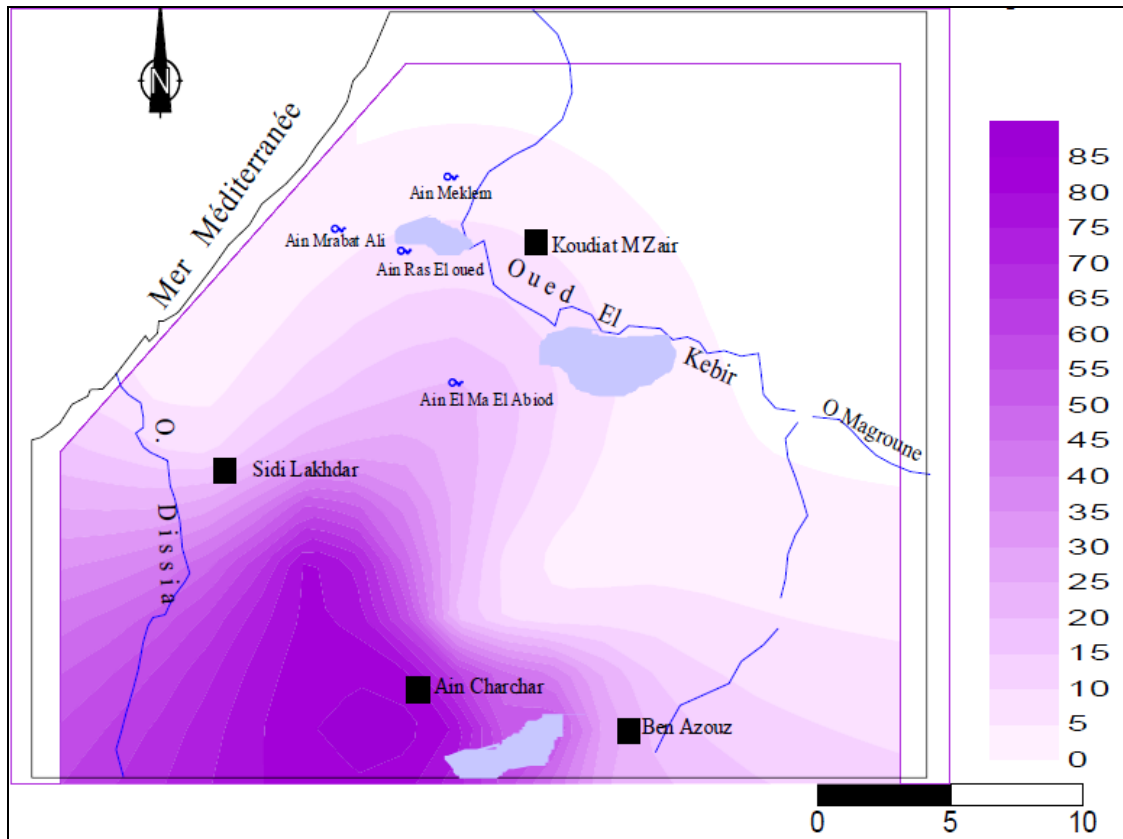


Figure 34 : Carte des sulfates (Avril 2002) (d'après Ben Rabah.S 2006)

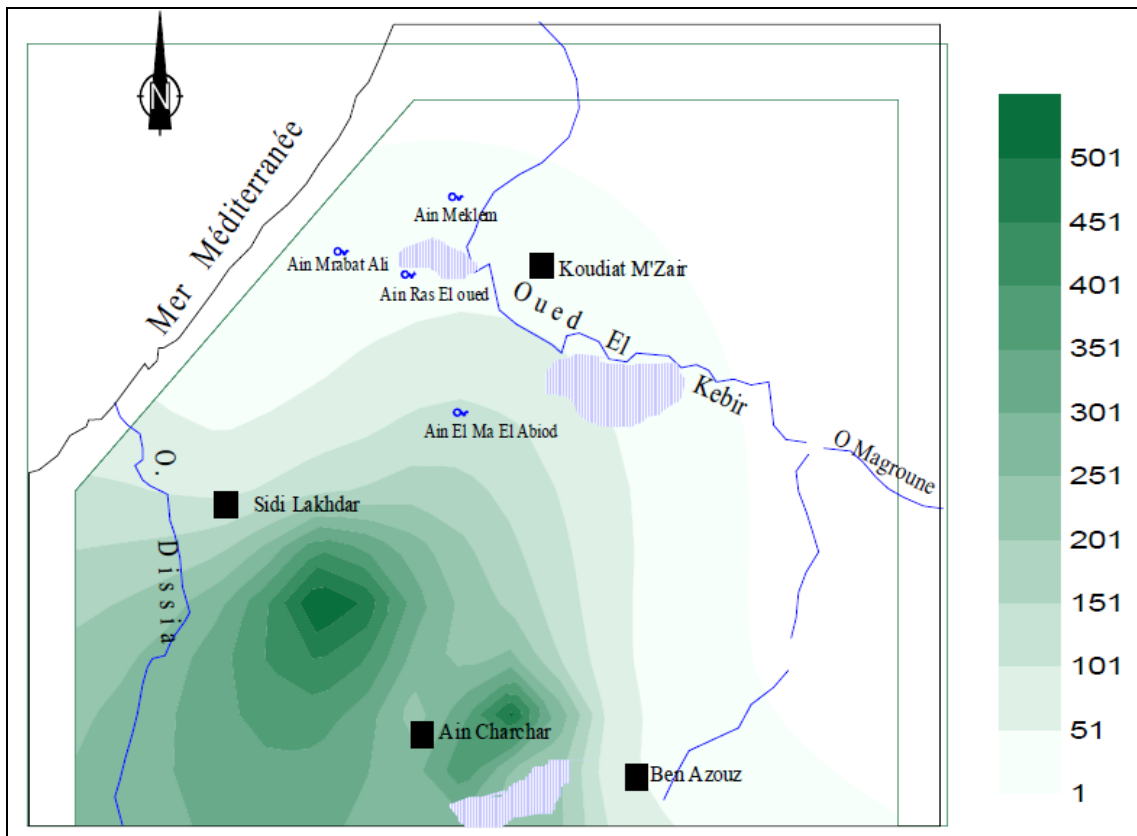


Figure 35 : Carte des chlorures (Avril 2002) (d'après Ben Rabah.S 2006)

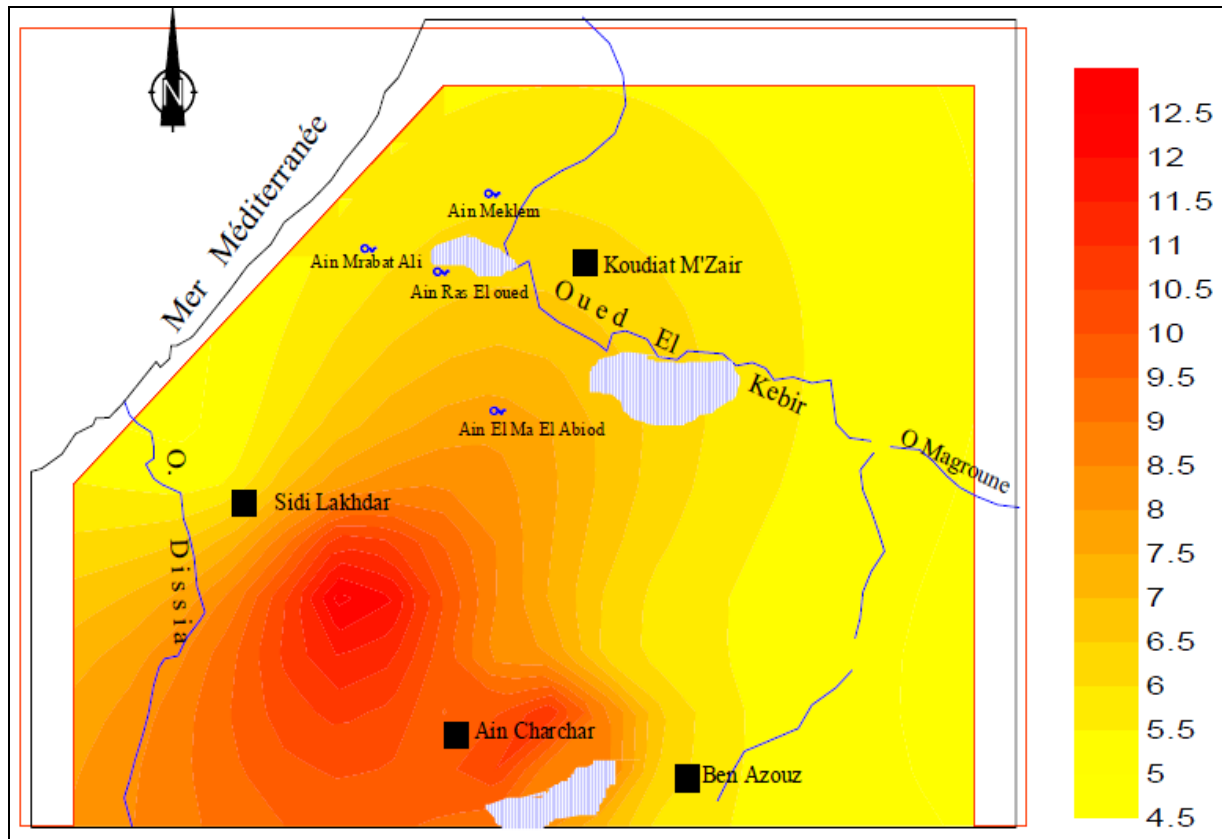


Figure 36 : Carte de l'indice de contamination des eaux souterraines par les nitrates, les sulfates et les chlorures (2004) (d'après Ben Rabah.S 2006)

### **V.1.2.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :**

L'agriculture durable passe par le maintien de la qualité du sol et de l'eau. Certaines pratiques agricoles constituent un risque pour l'environnement dont les conséquences pourraient affecter les régions urbaines comme rurales. Les bonnes pratiques de gestion permettent de réduire les risques environnementaux de l'agriculture. Ces pratiques agricoles tiennent compte des connaissances actuelles en matière de conservation du sol et de l'eau, sans pour autant sacrifier la productivité.

Notre région d'étude est à vocation agricole, une activité qui demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures. L'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques tolérables par les plantes.

Les eaux trop minéralisées créent divers problèmes pédologiques et agronomiques, ces sels peuvent nuire les cultures et perturber leur croissance entraînant une baisse du rendement.

Parmi les éléments responsables de ces problèmes on cite le sodium ; les fortes teneurs en cet élément provoquent un changement de la structure physique du sol à cause du gonflement des particules d'argiles. Celles-ci seront par la suite dispersées rendant ainsi la circulation de l'eau plus lente au sein du sol. Cette dégradation des caractéristiques physiques du sol se traduit par une baisse de sa perméabilité et de son aération.

Dans le but d'étudier la qualité des eaux de l'aquifère à l'irrigation, on a fait recours à la méthode de Richards (logiciel Diagramme). Il met en évidence différentes classes d'eau qui ont été définies sur la base du taux d'absorption de sodium (S.A.R) et sur la concentration de l'eau sous la forme de la conductivité électrique (en  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à  $25^\circ\text{C}$ ).

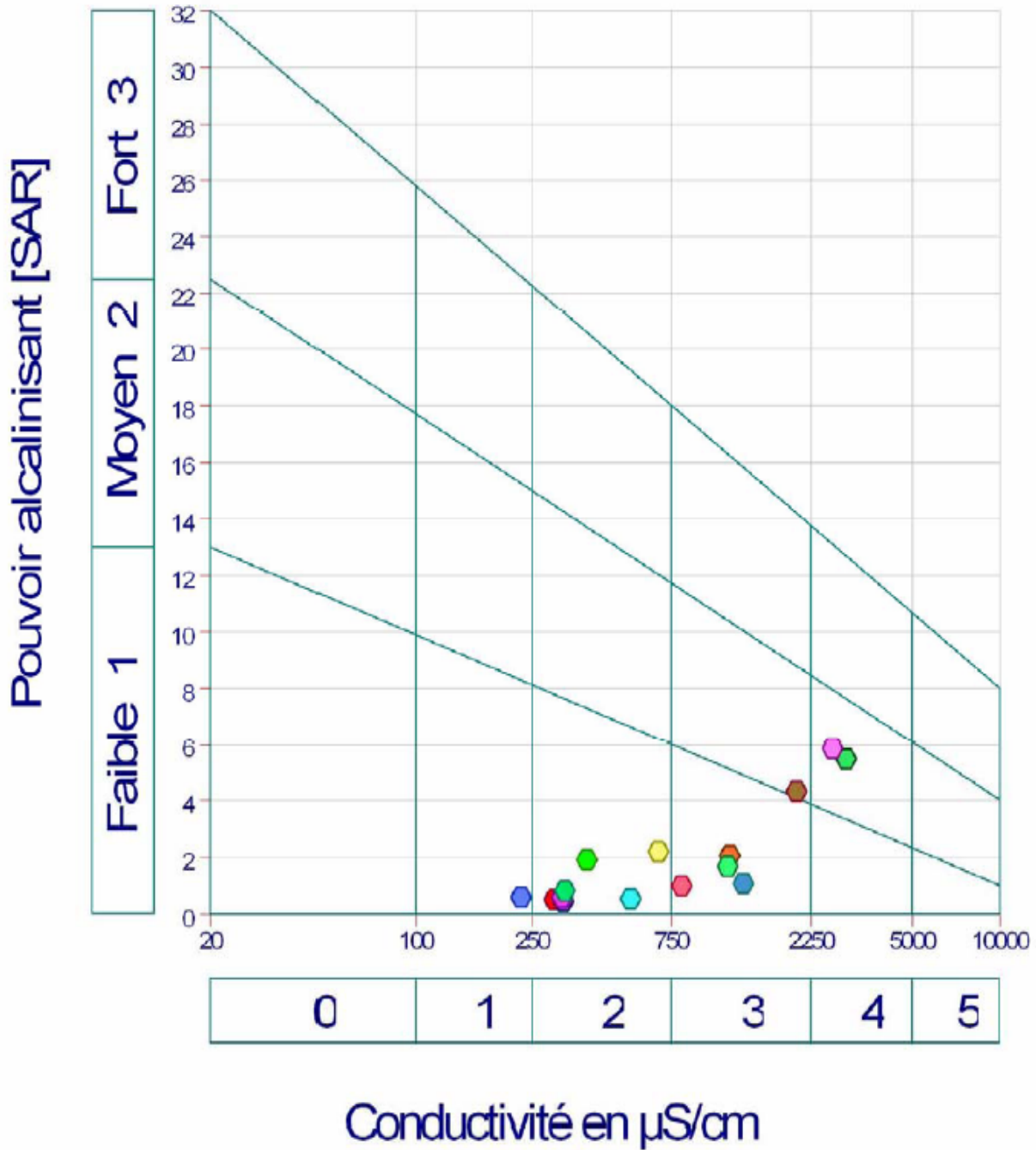


Figure 37 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R (d'après Hadj-Said.S 2007)

Les valeurs obtenues à partir des échantillons analysés ont été reportés sur le diagramme de Richards (Figure 37) où on remarque que l'ensemble des points d'eau se situe dans les trois dernières classes dont le risque de salinisation est moyen à fort alors qu'un seul point d'eau correspond à la première classe.

Les quatre classes d'eau trouvées correspondent aux caractéristiques suivantes :

- ✓ C1-S1 : Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols, cette classe appartenant à un seul point d'eau.
- ✓ C2-S1 : En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité. C'est la caractéristique des sept points d'eau.
- ✓ C3-S1 : En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Dans ce cas cinq points d'eau.
- ✓ C4-S2 : En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés. A cette classe appartient deux points d'eau.

Il ressort de cette classification que dans l'ensemble, les eaux de la région conviennent à l'irrigation des diverses cultures. Cependant, on note que les points d'eau situés dans le secteur Sud donnent une eau ne convenant qu'à l'irrigation de certaines plantes tolérantes au sel (Hadj Said.S 2007).

## **V.2.Conclusion :**

L'étude et l'interprétation des données hydro chimiques des eaux souterraines et des eaux de surface dans la région d'étude nous a permis de faire les conclusions suivantes :

Pour les eaux de surfaces les faciès chimiques dominants sont : Chloruré calcique au niveau de l'oued Fendek, et bicarbonaté calcique, bicarbonaté sodique au niveau de l'oued Kébir Ouest.

L'indice d'altération global des eaux de l'oued Kébir Ouest est de 18 %, ce qui les met dans la quatrième classe avec une qualité mauvaise (Ben Rabah.S 2006).

D'après le résultat de diagramme de Wilcox, les eaux qui représentent oued Fendek sont admissibles.

Concernant les eaux souterraines, les faciès dominants sont : sulfaté sodique, sulfaté magnésien dans la région d'Azzaba ; et bicarbonaté calcique, chloruré sodique dans la région de Guerbès.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques nous a permis de montrer que les eaux des puits de la région d'Azzaba se divisent en trois classes :

La 1<sup>ère</sup> classe : représente les eaux de bonne qualité, assez douce et faiblement minéralisée, situées au centre de la plaine d'Azzaba.

La 2<sup>ème</sup> classe: représente les eaux de qualité médiocre, dure et moyennement minéralisée (au Nord Est de la plaine)

La 3<sup>ème</sup> classe : représente des eaux de mauvaise qualité, très dure, fortement à très fortement minéralisée (le long de l'oued Fendek et sur les deux flancs Est et Ouest de l'oued).

On note que Les teneurs élevées en Hg et en Pb dans les eaux analysées, jusqu'à (80 µg /l) ont été retrouvées dans la nappe Oligocène ; alors que dans la nappe Paléocène-Eocène elles sont relativement faibles (Benhamza.M 2007).

Les eaux souterraines de la région de Guerbès conviennent à l'irrigation des diverses cultures. Cependant, on note que les points d'eau situés dans le secteur Sud donnent une eau ne convenant qu'à l'irrigation de certaines plantes tolérantes au sel (forte concentration en sels minéraux).

# CHAPITRE

# VI

## **Evaluation des ressources en eau**

---

*Les besoins en eau de l'homme augmentent considérablement dans le temps et touchent à des domaines de plus en plus nombreux pour satisfaire ses exigences de confort et d'agrément et pour répondre à une demande économique croissante.*

*La planification à l'exploitation de l'eau repose sur l'évaluation de la réserve (potentiel) qui est la quantité d'eau stockée au cours d'une période moyenne annuelle, dans un système hydrologique, et de la ressource qui est le volume d'eau pouvant être extrait d'un domaine circonscrit pendant une période donnée.*

## **VI.1.Ressources en eau dans la région Azzaba-Guerbès :**

Le régime des précipitations sur notre région d'étude est caractérisé par une grande variabilité temporelle et spatiale. Les données pluviométriques recueillies de l'A.N.R.H montrent que les précipitations moyennes annuelles varient de 600 à 800 mm, et se répartie comme suit :

- Supérieur à 600 mm à la station d'Azzaba.
- Atteint 840 mm à la station d'Ain charchar.
- De 786 mm à la station de Skikda.

Vu que les conditions qui règnent dans le secteur d'étude (condition géologique, couvert végétal...) favorisent plutôt l'infiltration au ruissellement dans la plaine de Guerbès, et contrairement dans la plaine d'Azzaba c.-à-d. qu'on voit les inondations dans les saisons pluvieuses (terrain imperméable + plaine).

### **VI.1.1.Ressources en eau de surface :**

Le potentiel hydrique superficiel comprend toutes les eaux des oueds, barrages, et retenues collinaires qui sont dans la majorité du temps destinées à l'irrigation sauf pour les barrages qui sont après traitement destinées pour l'approvisionnement en eau potable des agglomérations.

#### **VI.1.1.1.Les oueds :**

Les ressources hydriques superficielles proviennent essentiellement d'oued Kébir Ouest, l'origine de cet Oued se situe à l'aval de Bekkouche Lakhdar à la confluence de Oued Hammam et Oued Emchkel en passant par Boumaiza et Ben Azzouz pour rencontrer la mer à la Marsa après un parcours d'environ 100 Km, son bassin versant est de 1827 Km<sup>2</sup> et son apport hydraulique est estimé à 282 million de m<sup>3</sup> à la station de Ain Charchar, avec des largeurs de 8 à 10 m et de profondeurs de plus de 10 m, l'affluent le plus important est Oued Fendek qui passe par Azzaba, Essebt et Djendel (DHW de Skikda).

#### **VI.1.1.2.Le barrage de Zit Emba :**

Ouvrage d'importance hydraulique situé dans le territoire de la commune de Bekkouche Lakhdar, dans la Daira de Ben Azzouz, la surface de son bassin versant est 485 km<sup>2</sup>, sa capacité totale est de 120 Hm<sup>3</sup>. Il est destiné à l'alimentation en potable des quatre communes El Sebt, Ain Charchar, Djendel et Azzaba, mais aussi et surtout à l'irrigation d'un périmètre de 6 500 ha situé sur la plaine de Ben Azzouz. La sécheresse qui a sévi à incité les autorités de procéder à une adduction et la pose d'une canalisation sur une distance 56 km pour doter le barrage de Zerdezza d'une quantité de 9.5 Hm<sup>3</sup>, à fin de l'alimentation de la ville de Skikda.

Le barrage régularise 43.4 Hm<sup>3</sup> annuellement.

**Tableau 29 : Prélèvements mensuels en eau (en Hm<sup>3</sup>) du barrage de Zit Emba (2014)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
AEP	0.626	0.613	0.719	0.751	0.791	0.679	0.591	0.910	0.782	0.744	0.674	0.629

Source : Station de traitement d'Azzaba



**Figure 28 : Courbe de variation mensuelle des prélèvements en eau (AEP) du barrage de Zit Emba (2014)**

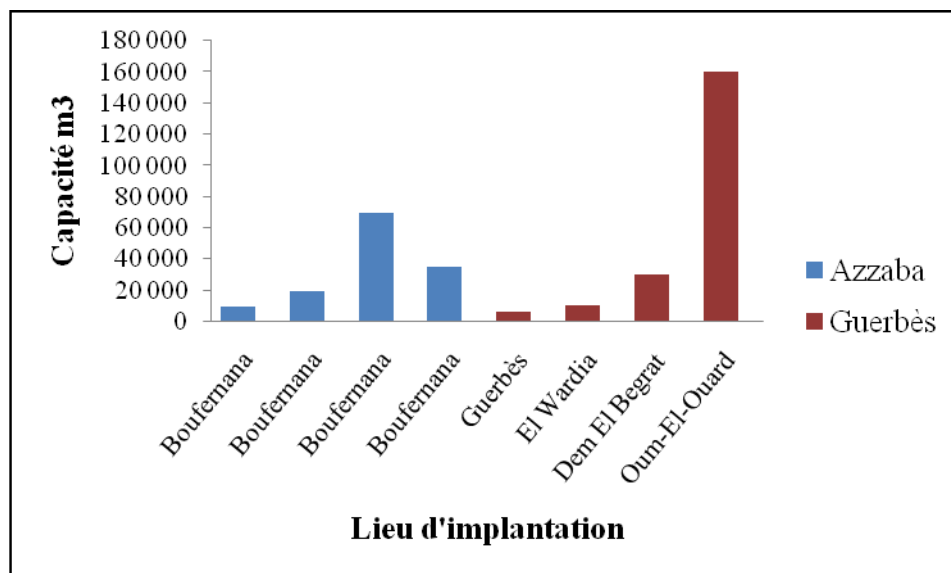
### VI.1.1.3. Les retenues collinaires :

Les retenues collinaires dans le secteur d'étude, sont destinées essentiellement à l'irrigation des moyens et petits périmètres et l'abreuvement des cheptels, elles sont nombreuses varient de très petites à grandes capacités, mais seulement quatre grandes retenues qui mobilisent un volume globale de 0.135 Hm<sup>3</sup> présent en considération par la commune d'Azzaba, et quatre retenues qui mobilisent un volume de 0.206 Hm<sup>3</sup> présent en considération par la commune de Djendel (la région de Guerbès).

**Tableau 30 : Inventaire des retenues collinaires dans la région Azzaba-Guerbès**

La région	Lieu d'implantation	Capacité m <sup>3</sup>	Superficie irrigable Ha	Superficie irriguée Ha
Azzaba	Boufernana	10 000	17	14
	Boufernana	20 000	10	3
	Boufernana	70 000	51	51
	Boufernana	35 000	51	51
Guebès	Guebès	6 000	6	3
	El Wardia	10 000	50	20
	Dem El Begrat	30 000	160	120
	Oum-El-Ouard	160 000	400	3.5

Source : DHW de Skikda, situation de la PMH



**Figure 29 : La capacité des retenues collinaires**

### VI.1.2. Ressources en eau souterraines :

Les réserves souterraines de la région Azzaba-Guebès proviennent essentiellement des différents ouvrages de captage localisés dans les deux plaines captant principalement des terrains sédimentaires formés de sables et d'alluvions, les sources sont de moindre importance vu leurs nombre et leurs débits d'exploitation.

Dans la région de Guebès la nappe révélée est celle des sables dunaires, s'étendant à plusieurs kilomètres du nord au Sud, cette nappe a une réserve d'eau très importante (d'après Hadj Said.S 2007).

Ainsi que la nappe de la plaine d'Azzaba (Oued Fendek) qui est formée par les nappes du Crétacé et du Jurassique (calcaires) et la nappe alluviale. Le mur de ces alluvions est constitué de marne et d'argile du numidien.

Potentialités connues de la nappe d'El Kébir Ouest est de 34 Hm<sup>3</sup> (source : DHW de Skikda)

#### **VI.1.2.1. Les forages :**

La majorité du potentiel hydrique souterrain est extraite par pompage à partir d'une batterie de forages implantée dans la plaine alluvionnaire d'Azzaba.

Au mois de décembre 2014, on a dénombré 23 forages (bon et mauvais état) dans la région d'Azzaba, répartis sur les secteurs suivants :

- ✓ 9 forages destinés à l'alimentation en eau potable.
- ✓ 1 forage destiné à l'alimentation en eau pour l'industrie.
- ✓ 13 forages destinés à l'alimentation en eau pour l'irrigation (3 dans le cadre du programme F.N.R.D.A).

Leur débit compris entre 2 et 110 l/s (cas de forage de « Zit Emba 1 » d'après DHW de Skikda), mobilisent un volume total de 6.2 Hm<sup>3</sup>/an, dont un volume de 2.4 Hm<sup>3</sup> est exploité par l'APC et l'ADE pour l'alimentation en eau potable.

Actuellement, la région de Guerbès contient un seul forage en exploitation destiné à l'alimentation en eau potable des populations, et deux autres exploités pour l'agriculture. Ces forages mobilisent un volume de 0.36 Hm<sup>3</sup>/an.

#### **VI.1.2.2. Les puits :**

Les puits dans la région Azzaba-Guerbès sont en majorité domestiques.

Pour l'irrigation, on a dénombré dans la commune d'Azzaba 60 puits (43 dans le cadre du programme F.N.R.D.A) avec des débits allant de 1.5 à 10 l/s.

Ces puits contribuent de 2.8 Hm<sup>3</sup> annuellement pour l'irrigation des terrains agricoles.

D'après la subdivision agricole de la commune d'Azzaba, 45 puits exploités pour l'agriculture dans la région de Guerbès mobilisent un volume annuel de 1.5 Hm<sup>3</sup>.

#### **VI.1.2.3. Les sources :**

Deux sources sont captées, assurant l'alimentation en eau potable de la commune d'Azzaba, avec un débit de 25 l/s, le volume moyen annuel est de 0.788 Hm<sup>3</sup>.

**Tableau 31 : Récapitulatif des ressources en eau mobilisables dans la zone d'étude**

Région	Les ressources en eau en (Hm <sup>3</sup> )		
	Eau souterraine	Eau superficielle	Total
<b>Azzaba</b>	9.788	46.235	56.023
<b>Guerbès</b>	1.86	1.706	3.566

## VI.2. Mobilisation des ressources en eau dans la région Azzaba-Guerbès:

Une bonne évaluation des ressources en eau passe par une bonne connaissance des volumes prélevés par les différentes catégories d'usagers.

### VI.2.1. Mobilisation des ressources en eau dans la région d'Azzaba :

#### VI.2.1.1. Mobilisation des eaux de surface :

L'usage principal de l'eau de surface dans la région d'Azzaba est agricole avec des prélèvements qui atteignent 2.824 Hm<sup>3</sup>/an. Seuls les prélèvements dans le barrage Zit Emba sont destinés à l'eau potable.

En 2014, les prélèvements mensuels d'alimentation en eau potable dans le barrage sont globalement stables, avec des petites variations selon les mois.

**Tableau 32 : Dotation mensuelle en eau (Hm<sup>3</sup>) de la ville d'Azzaba**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
AEP	0.285	0.268	0.295	0.298	0.233	0.277	0.479	0.291	0.276	0.271	0.246	0.253

Source : Station de traitement d'Azzaba

Annuellement des prélèvements de 3.472 Hm<sup>3</sup> du barrage de Zit Emba pour l'usage domestique de la ville d'Azzaba.

Sur le réseau hydrographique de la région (oued Fendek) on relève 17 prises d'eau destinées à l'irrigation totalisent un volume moyen annuel de 2.7 Hm<sup>3</sup>.

Les retenues collinaires qui ont une capacité totale de 0.135 Hm<sup>3</sup>, seulement 0.124 Hm<sup>3</sup> est exploité par l'irrigation.

Donc les prélèvements en eau de surface sont de l'ordre de 6.294 Hm<sup>3</sup>, dont 2.824 Hm<sup>3</sup> destinée à l'irrigation (soit 44.87 %) et 3.47 Hm<sup>3</sup> à l'AEP (soit 55.13 %).

#### VI.2.1.2. Mobilisation des eaux souterraines :

Des volumes importants pour l'eau potable sont prélevés, notamment dans la nappe de la plaine d'Azzaba avec 3.2 Hm<sup>3</sup>/an.

Les prélèvements agricoles sont eux essentiellement situés dans la région d'Azzaba, le nombre total de puits et forages réalisés et réceptionnés est plus de 73 avec un volume annuel de 4 Hm<sup>3</sup>.

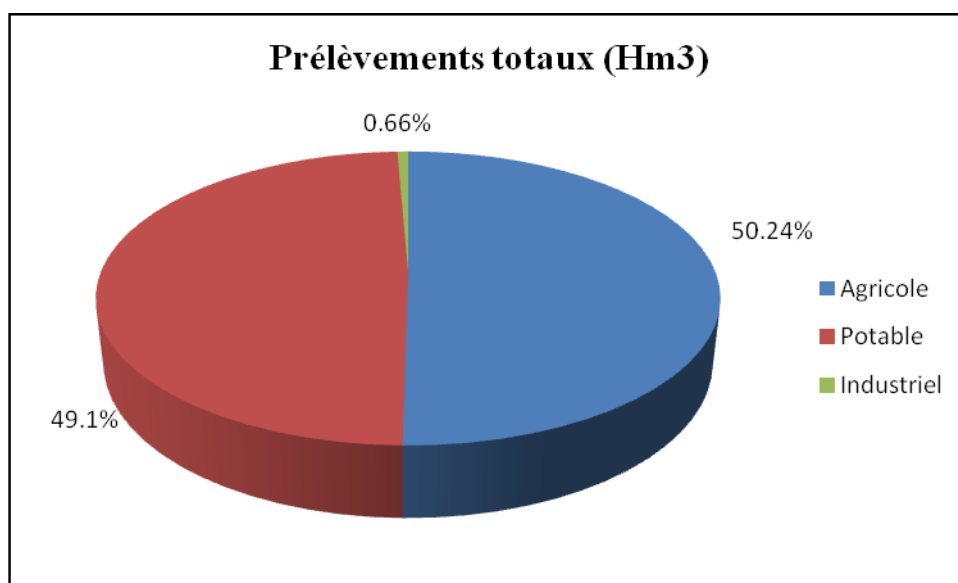
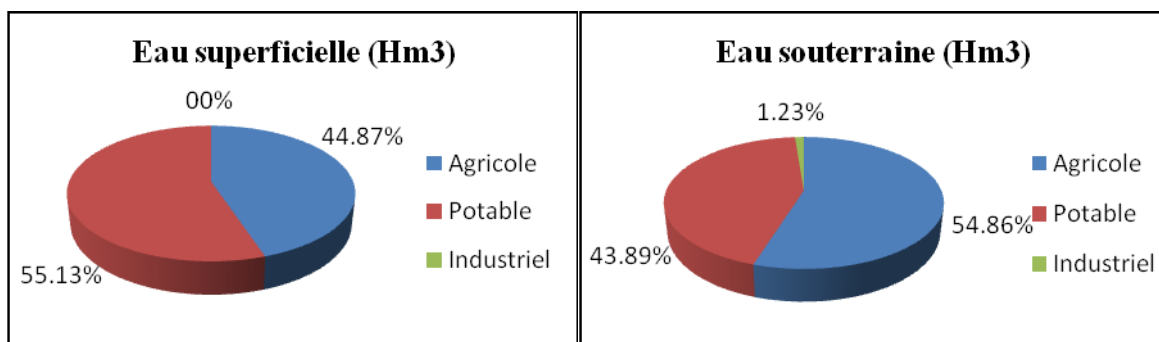
Quant à l'industrie, les prélèvements en eau souterraine sont estimés de 0.09 Hm<sup>3</sup>.

Donc, les prélèvements en eau souterraine tout usage confondu sont de l'ordre de 7.29 Hm<sup>3</sup>, avec 43.89 % destiné à l'AEP, 54.86 % destiné à l'AEA et 1.23 % destiné à l'AEI.

Le tableau suivant récapitule les prélèvements en eau dans la région d’Azzaba pour les principaux usagers.

**Tableau 33 : Usagers de l’eau et type de prélèvement dans la région d’Azzaba**

Usagers de l’eau	Prélèvements			
	Eau superficielle (Hm <sup>3</sup> )	Eau souterraine (Hm <sup>3</sup> )	Total	
			(Hm <sup>3</sup> )	(%)
<b>Agricole</b>	2.824	4	6.824	50.24
<b>Potable</b>	3.47	3.2	6.67	49.1
<b>Industriel</b>	/	0.09	0.09	0.66
<b>Total</b>	6.294	7.29	13.584	100



**Figure 30 : Répartition des prélèvements par type d’eau et par usager**

## VI.2.2. Usagers de l'eau dans la région d'Azzaba :

Un « usager » est un utilisateur de l'eau (population, industrie, agriculture).

### VI.2.2.1. La population :

Nous avons obtenu les données de population à partir du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et de Plan d'Occupation du Sol (POS) de la commune d'Azzaba.

#### VI.2.2.1.1. Répartition de la population :

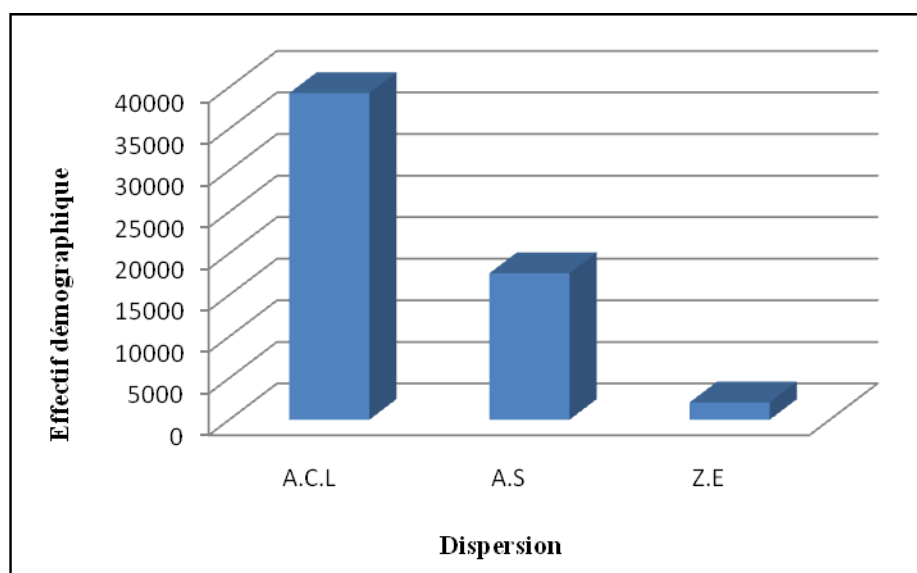
La surface communale de la commune d'Azzaba s'étend sur 173,43 km<sup>2</sup> et regroupe une population recensée en 2011 de 58 992 habitants, ce qui se traduit par une densité de 340 habitants/km<sup>2</sup>.

La répartition spatiale de la population de la commune d'Azzaba traduit un déséquilibre entre le chef lieu (Azzaba) et les agglomérations secondaires (Ras Elma, Manzel Abtal, Menzel Ben Dishe, El Zawia, Bouzra, Frère Boumediene), alors que le chef lieu occupe la première position, suivi par l'agglomération secondaire puis la zone éparse.

**Tableau 34 : La population de la commune d'Azzaba**

Dispersion	Effectif démographique (habitant)	Taux de concentration (%)
A.C.L	39 290	66.60
A.S	17 619	29.87
Z.E	2 083	3.53
Commune	58 992	100

Source : POS 2012 de la commune d'Azzaba



**Figure 31 : Répartition spatiale de la population de la commune d'Azzaba**

**VI.2.2.1.2.L'évolution de la population :**

Avec un taux d'accroissement démographique global de 1.51 % (d'après le RGPH de 1998 et le RGPH de 2008 dans la commune d'Azzaba) l'évolution de la population de la commune d'Azzaba sur les différents horizons (2011, 2014, 2020 et 2030) est représentée au tableau suivant :

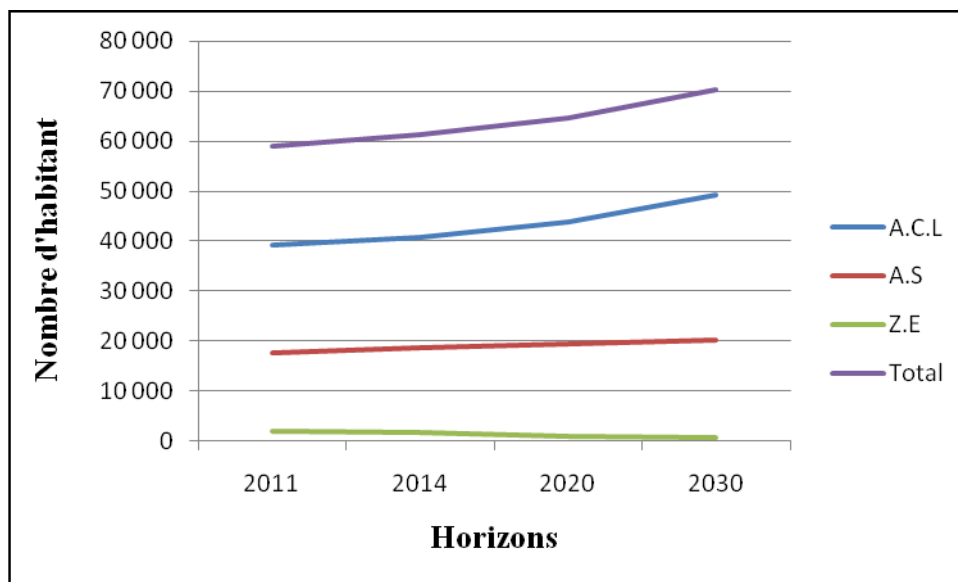
**Tableau 35 : Evolution de la population de la commune d'Azzaba**

Population (habitant)	Horizons			
	2011	2014	2020	2030
<b>A.C.L</b>	39 290	40 853	43 980	49 193
<b>A.S</b>	17 619	18 760	19 580	20 340
<b>Z.E</b>	2 083	1 744	1 065	660
<b>Totale</b>	58 992	61 357	64 625	70 193

Source : PDAU 2012 de la commune d'Azzaba

La population de la commune d'Azzaba dépassera à l'horizon 2030 les 70 000 habitants, la densité sera de 404 hab/km<sup>2</sup>

Seule la population du chef lieu présente une augmentation considérable, le monde rural reste presque stable, alors que la population du monde épars aura une diminution de l'ordre de 68 %. Cela peut être expliqué par la continuation d'exode rural vers la ville.



**Figure 32 : Evolution de la population de la commune d'Azzaba**

**VI.2.2.2.L'agriculture :**

Azzaba est une région à vocation agricole, à cause de la superficie importante des terres agricoles, qui occupe la moitié de la surface de la commune (9092.4 ha, soit 52.42 %), avec une surface agricole utile de l'ordre de 6739.4 ha, soit 71.76 % de la surface agricole totale.

**Tableau 36 : superficie irriguée dans la région d’Azzaba (compagne 2014)**

Région	Superficie agricole totale (SAT) en (ha)	Superficie agricole utile (SAU) en (ha)	Superficie irriguée en (ha)
Azzaba	9092.4	6739.4	2110

Source : Subdivision Agricole d’Azzaba, DSA

Le potentiel en terres irriguées de la région d’Azzaba est estimé de 2110 ha (selon les données de la DSA de Skikda), ce qui représente 31.30 % de la superficie agricole utile.

**Tableau 37 : répartition de la superficie irriguée par types de cultures**

Type de cultures / Région	Cultures industrielles	Cultures maraichères	Cultures fruitières	Total
Azzaba	715	709	686	2110

Source : Subdivision Agricole d’Azzaba, DSA

### VI.2.2.3.L’industrie :

L’industrie dans la région d’Azzaba est considérée comme un utilisateur d’une importance insignifiante par rapport les deux premiers utilisateurs.

Elle se représente par l’unité de mercure à Essebt qui est actuellement fermé, et l’unité de production de l’emballage métallique à Azzaba.

### VI.2.3.Projection des besoins en eau dans la région d’Azzaba :

#### VI.2.3.1.Evolution des besoins en eau à usage domestique (AEP) :

Les besoins en eau potable de l’ensemble de la commune sur la base d’une dotation journalière de 150 l/hab/jour pour l’agglomération principal et 125 l/hab/jour pour les deux autres types de population, en appliquant la formule suivante :

$$Q = N_{Hab} \times q \times N_{j/an}$$

Avec :

**Q** : le besoin en eau potable de la population en (m<sup>3</sup>/an).

**N<sub>Hab</sub>** : le nombre d’habitant.

**q** : la dotation journalière en (m<sup>3</sup>/habitant/jour).

**N<sub>j/an</sub>** : le nombre de jours de l’année (365).

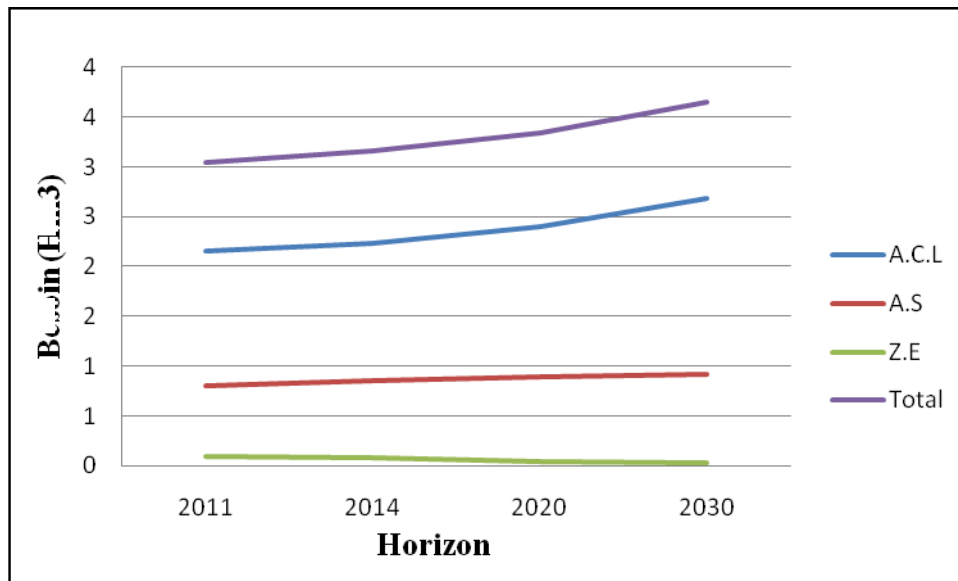
Pour l’ensemble des horizons considérés les besoins sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 38 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm<sup>3</sup> dans la région d’Azzaba selon type de population.**

Population (habitant)	Horizons			
	2011	2014	2020	2030
A.C.L	2.15	2.23	2.40	2.69
A.S	0.80	0.85	0.89	0.92
Z.E	0.095	0.079	0.048	0.030
<b>Totale</b>	<b>3.05</b>	<b>3.17</b>	<b>3.34</b>	<b>3.65</b>

On constate selon ces prévisions, qu’entre 2011 et 2030, alors que les besoins du monde urbain auront augmentés, ceux du monde épars auront diminué de 68 % et les besoins du monde rurale se maintiendront presque stables.

Les besoins totaux en eau à usage domestique en 2030 seront de l’ordre de 3.65 Hm<sup>3</sup>.



**Figure 33 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm<sup>3</sup> dans la région d’Azzaba**

**VI.2.3.2. Evolution des besoins en eau pour l’agriculture (AEA) :**

Les potentialités de la région d’Azzaba, en eau souterraine et superficielle sont importantes, cela a permis l’irrigation des grands périmètres. Les besoins totaux en eau pour l’agriculture sont fonction des conditions du climat et des indices économiques de la région. Les besoins en eau d’irrigation dépendent de plusieurs facteurs, la surface irriguée, sa localisation, le type de culture, les précipitations et l’évaporation sur la zone étudiée.

Avant d’évaluer les quantités d’eau supplémentaires qu’il faut apporter pour que les plantes ne souffrent pas de la sécheresse, il convient de faire la distinction entre les besoins en eau des cultures et les besoins en eau d’irrigation. Il faut noter aussi que les exigences en eau par espèces végétales sont variables et ne peuvent être définies avec exactitude.

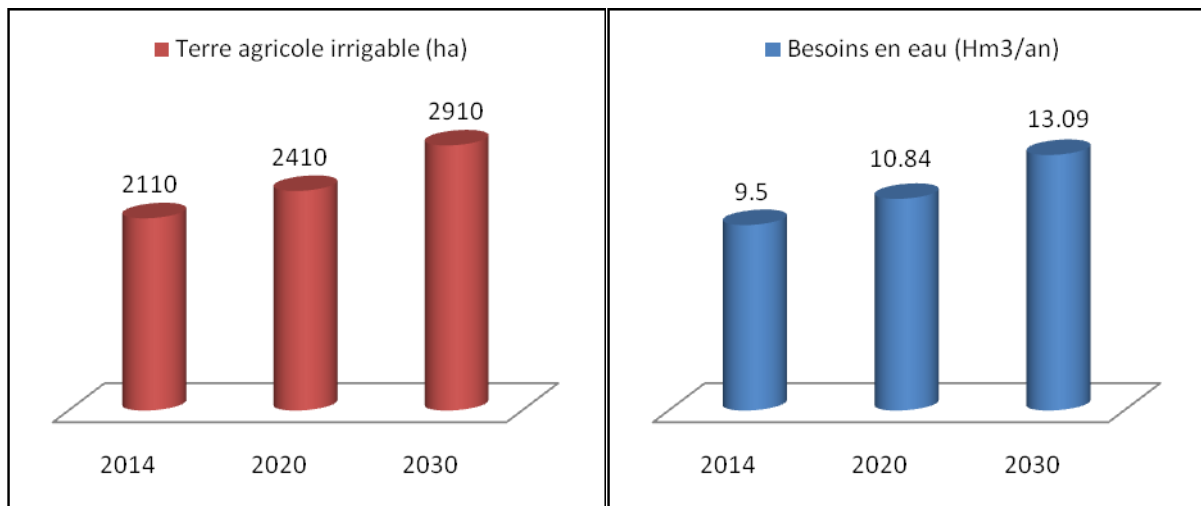
Cependant, nous pourrions approximer globalement et rapidement les besoins en eau d'irrigation en utilisant la norme suivante : les besoins en eau d'irrigation des zones côtières sont de 4500 m<sup>3</sup>/ha ; norme établies suivant les grandes régions bioclimatiques (d'après Daifallah.T 2007).

Donc pour une superficie agricole utile de 6739.4 ha on a besoin d'un volume de 30.3 Hm<sup>3</sup>/an, mais nous avons seulement une superficie irriguée de 2110 ha, alors on aura besoin d'un volume de 9.5 Hm<sup>3</sup>/an.

L'évolution des besoins en eau pour l'agriculture est liée directement à l'augmentation des terres agricoles irrigables, en effet, en projetant une augmentation de 500 ha toute les dix ans à venir, alors, les besoins en eau augmentent comme c'est illustré dans le tableau qui suit :

**Tableau 39 : Evolution des besoins en eau pour l'agriculture (2014-2030)**

Année	2014	2020	2030
Terre agricole irrigable (ha)	2110	2410	2910
Besoins en eau (Hm <sup>3</sup> /an)	9.5	10.84	13.09



**Figure 34 : Evolution dans le temps de la demande en eau pour l'agriculture (2014-2030) dans la commune d'Azzaba**

### VI.2.3.3. Evolution des Besoins en eau de l'industrie (AEI) :

L'industrie troisième consommateur en l'eau dans la région d'Azzaba, avec un volume annuel de 0.09 Hm<sup>3</sup>, ce volume consommé par l'entreprise d'emballage métallique (EMB) alloué par 250 m<sup>3</sup>/jour.

En effet, pour les horizons à venir on peut faire une projection des besoins en eau pour l'industrie avec une augmentation de 10% des besoins actuels pour chaque cinq année, on aboutira aux résultats mentionnés sur le tableau qui suit :

**Tableau 40 : Evolution des besoins en eau de l'industrie**

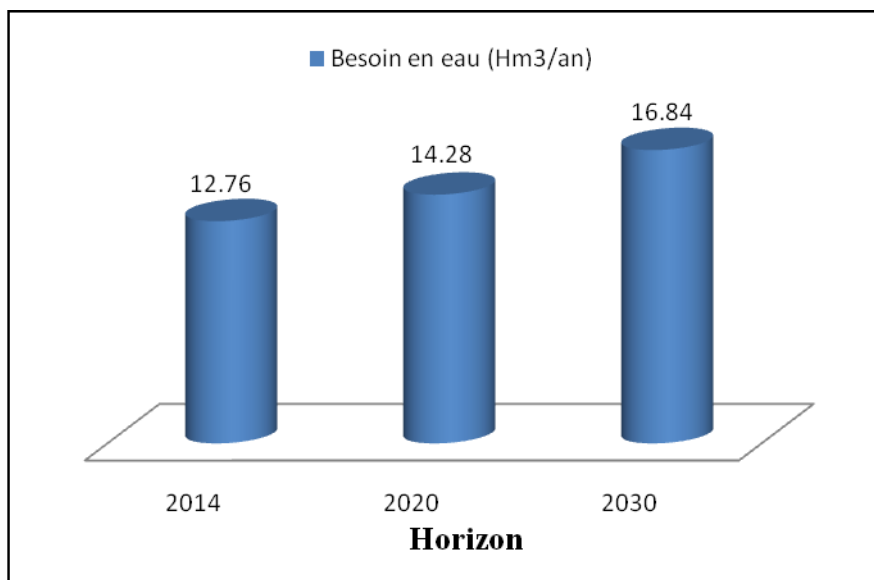
Horizon	2014	2020	2030
Besoin en eau (Hm <sup>3</sup> /an)	0.09	0.10	0.108

**VI.2.3.4. Evolution des besoins totaux en eau :**

Les besoins en eau projetés dans la région d'Azzaba, pour satisfaire les différents usagers, sont en augmentation d'un horizon à un autre (Figure 35), et ça est dû surtout à l'augmentation de nombre d'habitant.

**Tableau 41 : Evolution des besoins en eau dans la région d'Azzaba**

Horizon	2014	2020	2030
Besoin en eau (Hm <sup>3</sup> /an)	12.76	14.28	16.84



**Figure 35 : Evolution des besoins totaux en eau dans la commune d'Azzaba**

## VI.2.2. Mobilisation des ressources en eau dans la région de Guerbès :

### VI.2.2.1. Mobilisation des eaux de surface :

Dans la région de Guerbès, les ressources en eau de surface sont essentiellement les retenues collinaires qui mobilisent un volume total de 0.206 Hm<sup>3</sup> et seulement 0.05 Hm<sup>3</sup> est exploité par l'agriculture ; et 12 prises d'eau (oued) mobilisent un volume moyen annuel de 1.5 Hm<sup>3</sup>.

Donc les prélèvements en eau de surface sont de l'ordre de 1.55 Hm<sup>3</sup>, dont tout ce volume est exploité par l'agriculture.

### VI.2.2.2. Mobilisation des eaux souterraines :

Dans la plaine de Guerbès un peu de prélèvement sont recensés à cause de problème de l'ensablement. Les volumes prélevés en eau potable sont restés plus au moins limités, sont de l'ordre de 0.078 Hm<sup>3</sup> (DHW de Skikda).

Les prélèvements agricoles sont eux essentiellement situés dans la région de Guerbès, le nombre total de puits et forages réalisés et réceptionnés est plus de 47 avec un volume annuel de 1.35 Hm<sup>3</sup>.

Sur un apport total de 1.74 Hm<sup>3</sup>, le volume d'eau mobilisé annuellement par les forages et puits existant dans la région, est de l'ordre de 1.42 Hm<sup>3</sup>, soit 82 %

Donc les prélèvements en eau souterraine tout usage confondu sont de l'ordre de 1.428 Hm<sup>3</sup>, avec 5 % destiné à l'AEP, 95 % destiné à l'AEA.

Le tableau suivant récapitule les prélèvements en eau dans la région de Guerbès pour les principaux usagers.

**Tableau 42 : Usagers de l'eau et type de prélèvement dans la région de Guerbès**

Usagers de l'eau	Prélèvements			
	Eau superficielle (Hm <sup>3</sup> )	Eau souterraine (Hm <sup>3</sup> )	Total	
			(Hm <sup>3</sup> )	(%)
<b>Agricole</b>	1.55	1.35	2.9	97.38
<b>Potable</b>	/	0.078	0.078	2.62
<b>Total</b>	1.55	1.428	2.978	100

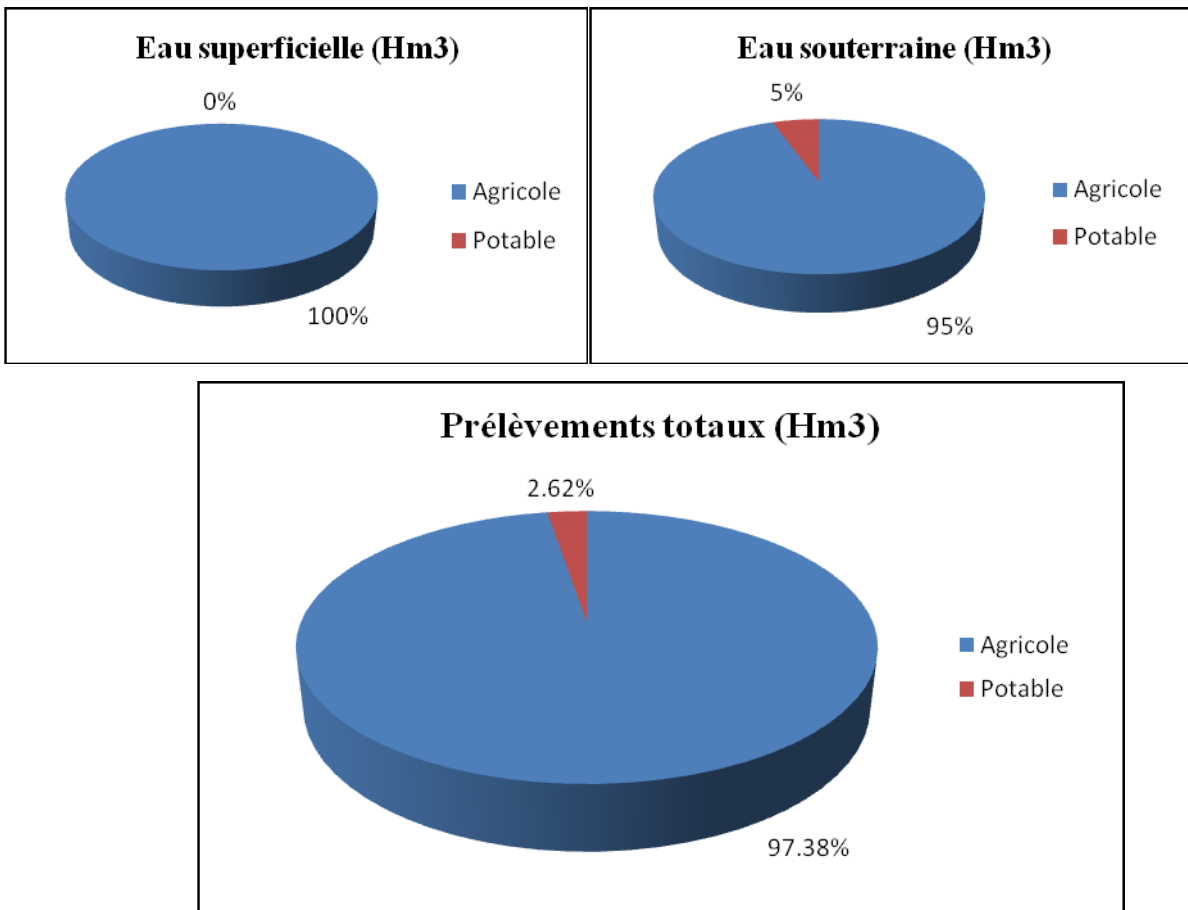


Figure 36 : Répartition des prélèvements par type d'eau et par usager

### VI.2.3. Usagers de l'eau dans la région de Guerbès :

#### VI.2.3.1. La population :

Nous avons obtenu les données de population à partir du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) de la commune de Djendel « Saadi Mohamed ».

##### VI.2.3.1.1. Répartition de la population :

Guerbès est l'agglomération la plus importante dans la commune de Djendel, elle regroupe une population recensée en 2008 de 1492 habitants, soit de 17.25 % de la population totale de la commune.

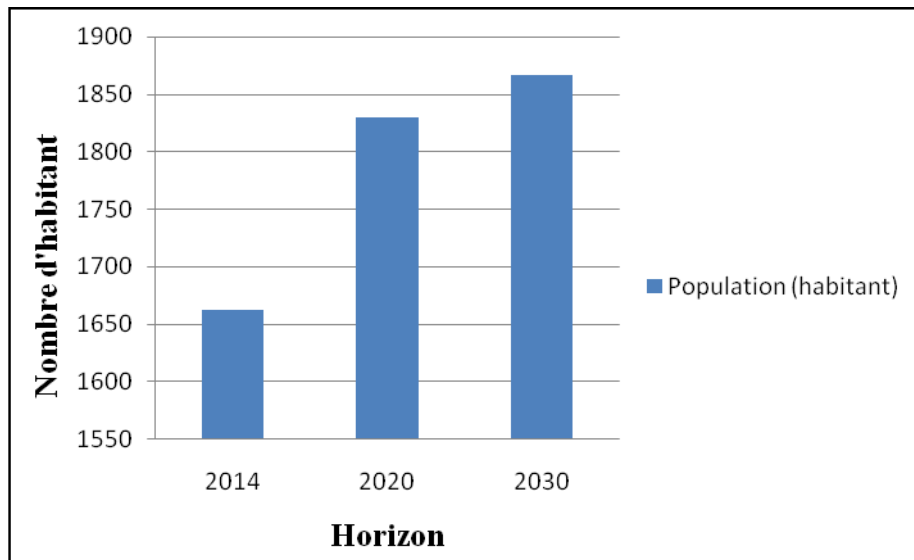
##### VI.2.3.1.2. L'évolution de la population :

Avec un taux d'accroissement démographique estimé entre 2010 et 2020 de 2.02 % et 2.15 % entre 2020 et 2030, l'évolution de la population de Guerbès sur les différents horizons est représentée au tableau suivant :

**Tableau 43 : Evolution de la population de la région de Guerbès**

Horizons	2014	2020	2030
Population (habitant)	1662	1830	1866

Source : PDAU 2012 de la commune de Djendel



**Figure 37 : Evolution de la population de la région de Guerbès**

#### VI.2.3.2.L'agriculture :

Guerbès est un village agricole par excellence, avec une superficie agricole totale de 713.77 ha et une superficie agricole utile de 652.27 soit 91.38 % de la superficie totale.

**Tableau 44 : superficie irriguée dans la région de Guerbès (compagne 2014)**

Région	Superficie agricole totale (SAT) en (ha)	Superficie agricole utile (SAU) en (ha)	Superficie irriguée en (ha)
Guerbès	713.77	652.27	620.45

Source : Subdivision Agricole d'Azzaba

Le potentiel en terres irriguées de la région de Guerbès est estimé de 620.45 ha (selon les données de la subdivision agricole d'Azzaba), ce qui représente 95.12 % de la superficie agricole utile.

**Tableau 45 : Répartition de la superficie irriguée par types de cultures**

Type de cultures Région	Cultures industrielles	Cultures maraichères	Cultures fruitières	Autres cultures	Total
Guebès	400.34	93.7	52.73	73.68	620.45

Source : Subdivision Agricole d'Azzaba

**VI.2.4.Projection des besoins dans la région de Guebès :**

**VI.2.4.1.Evolution des besoins en eau à usage domestique (AEP) :**

Les besoins en eau potable de l'ensemble de la commune sur la base d'une dotation journalière de 125 l/hab/jour pour l'agglomération de Guebès, en appliquant la formule suivante :

$$Q = N_{Hab} \times q \times N_{j/an}$$

Avec :

**Q** : le besoin en eau potable de la population en (m<sup>3</sup>/an).

**N<sub>Hab</sub>** : le nombre d'habitant.

**q** : la dotation journalière en (m<sup>3</sup>/habitant/jour).

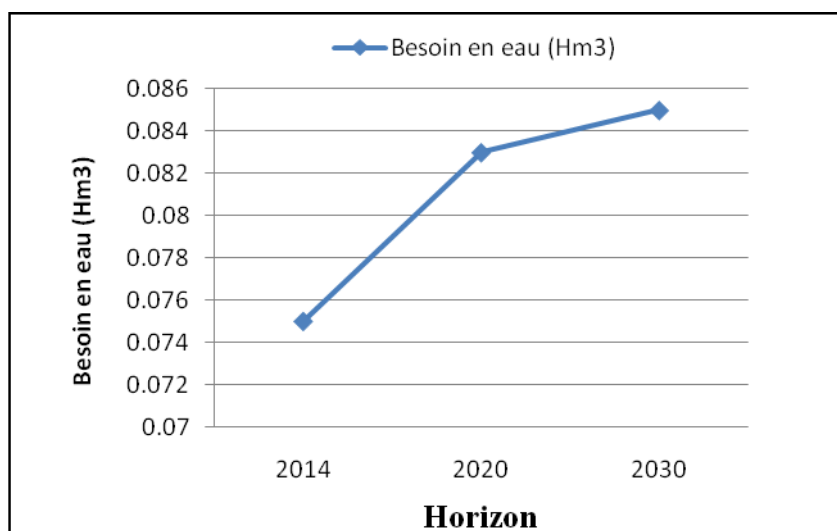
**N<sub>j/an</sub>** : le nombre de jours de l'année (365).

Pour l'ensemble des horizons considérés les besoins sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 46 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm<sup>3</sup> dans la région de Guebès**

Horizon	2014	2020	2030
Besoin en eau (Hm <sup>3</sup> )	0.075	0.083	0.085

On constate que les besoins en eau à usage domestique augmentent de 13 % entre 2014 et 2030.



**Figure 38 : Evolution des besoins en eau à usage domestique en Hm<sup>3</sup> dans la région de Guerbès**

**VI.2.4.2. Evolution des besoins en eau pour l’agriculture (AEA) :**

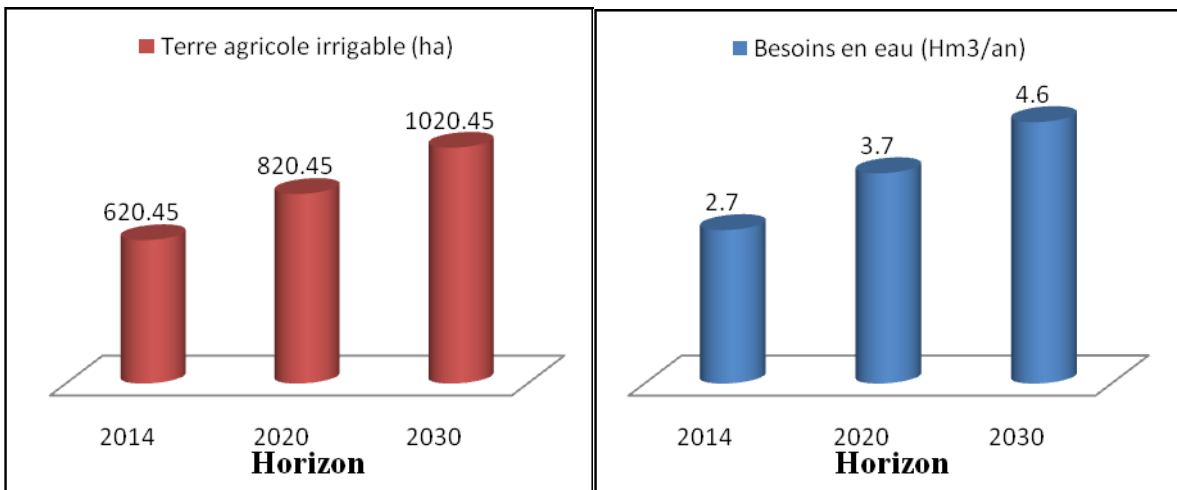
Les potentialités de la région de Guerbès, en eau souterraine et superficielle sont importantes, cela a permis l’irrigation des grands périmètres.

Par approximation, en utilisant la norme suivante : les besoins en eau d’irrigation des zones côtières sont de 4500 m<sup>3</sup>/ha ; norme établies suivant les grandes régions bioclimatiques (d’après Daif Allah.T 2007), pour une superficie agricole utile de 652.27 ha on a besoin d’un volume de 2.9 Hm<sup>3</sup>/an, mais nous avons seulement une superficie irriguée de 620.45 ha, alors on aura besoin d’un volume de 2.7 Hm<sup>3</sup>/an.

L’évolution des besoins en eau pour l’agriculture est liée directement à l’augmentation des terres agricoles irrigables, en effet, en projetant une augmentation de 200 ha toute les dix ans à venir, alors, les besoins en eau augmentent comme c’est illustré dans le tableau qui suit :

**Tableau 47 : Evolution des besoins en eau pour l’agriculture (2014-2030)**

Année	2014	2020	2030
<b>Terre agricole irrigable (ha)</b>	620.45	820.45	1020.45
<b>Besoins en eau (Hm<sup>3</sup>/an)</b>	2.7	3.7	4.6



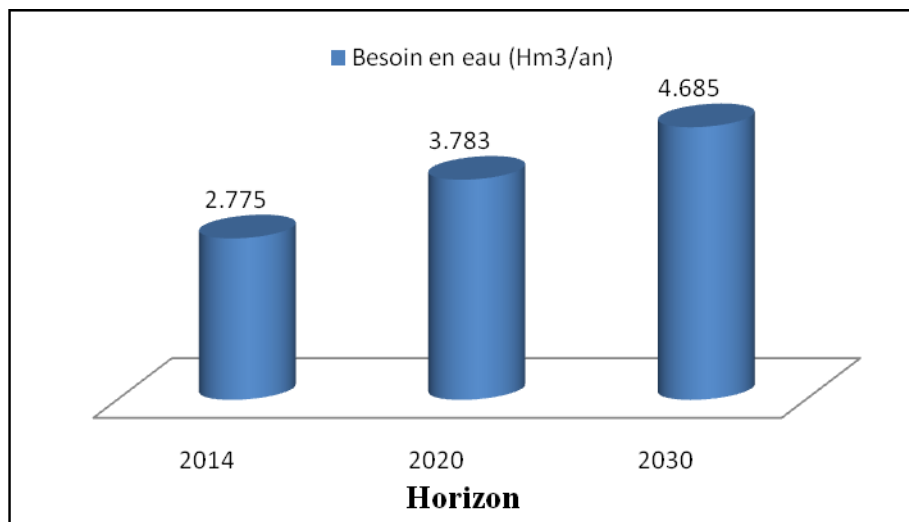
**Figure 39 : Evolution dans le temps de la demande en eau pour l'agriculture (2014-2030) dans la région de Guerbès**

**VI.2.4.3. Evolution des besoins totaux en eau :**

Les besoins en eau projetés dans la région de Guerbès, pour satisfaire les différents usagers, sont en augmentation d'un horizon à un autre (Figure 40), et ça est dû surtout à l'augmentation de nombre d'habitant.

**Tableau 48 : Evolution des besoins en eau dans la région de Guerbès**

Horizon	2014	2020	2030
Besoin en eau (Hm <sup>3</sup> /an)	2.775	3.783	4.685



**Figure 40 : Evolution des besoins totaux en eau dans la région de Guerbès**

### **VI.3.Conclusion :**

L'estimation des besoins en eau pour les trois usagers principaux, dans la région Azzaba-Guerbès, actuellement et dans les trois horizons (2014, 2020 et 2030) montre une augmentation de 12.76 Hm<sup>3</sup> en 2014 à 16.84 Hm<sup>3</sup> en 2030, passant par 14.28 Hm<sup>3</sup> en 2020 dans la région d'Azzaba ; et une augmentation de 2.775 Hm<sup>3</sup> en 2014 à 4.685 Hm<sup>3</sup> en 2030, passant par 3.783 Hm<sup>3</sup> en 2020 dans la région de Guerbès.

L'irrigation est le premier consommateur d'eau dans la région Azzaba-Guerbès, avec plus de 74 % et 97 % des besoins actuelles et projetées dans les deux régions successivement, vu la grande superficie agricole et le type des cultures irriguées et le sol.

L'augmentation des besoins en eau potable dans le temps due essentiellement à l'augmentation de la population.

L'industrie est jugée un utilisateur faible en matière d'eau, qui pompe des quantités d'eau négligeables par rapport aux autres usagers.

## Conclusion générale et recommandations

La présente étude menée sur La région Azzaba-Guerbès qui se situe dans la wilaya de Skikda, au Nord-Est Algérien.

Dans l'ensemble, la géologie de la région est très compliquée, ceci est le résultat de la tectonique qui affecte la totalité de la région caractérisée par des déformations souples (plis) et d'autres cassantes (failles) liées à de nombreuses phases tectoniques compressives, d'où leur comportement structurale de la petite Kabylie, présente sous les huit grandes unités suivantes : Le socle kabyle (paléozoïque), La dorsale kabyle (chaîne calcaire), Le Néritique (Jurassique, crétacé supérieur), Les séries de flysch (Barrémien, Lutétien supérieur), Les séries telliennes (Néocomien Lutétien), L'Oligo-Miocène Kabyle, La Nappe Numidienne (Oligo-Moyen- Burdigalien inférieur), Les terrains Post-Miocènes.

L'ensemble des données climatiques permet d'attribuer à la région un climat tempéré méditerranéen caractérisé par un hiver humide et pluvieux allant du mois d'Octobre au mois d'Avril et un été chaud et sec allant du mois de Mai au mois de Septembre. L'indice d'aridité annuel confirme que le type du climat est tempéré.

Le ruissellement est de 83.22 mm/an dans la région d'Azzaba, de 197.55 mm/an dans la région d'Ain-Charchar et de 162.22 mm/an dans la région de Skikda. Cette inégalité de ruissellement est due à la bonne pluviométrie et aux reliefs des régions qui favorisent le ruissellement. 126.19

L'infiltration calculée est égale à 111.88 mm/an dans la région d'Azzaba, 126.19 mm/an dans la région d'Ain-Charchar et 112.68 mm/an dans la région de Skikda.

D'après les résultats, on peut conclure que le déficit agricole est supérieur à l'excédent dans les trois stations, ce qui représente un grand pourcentage d'évapotranspiration durant la période (1980-2013).

En ce qui concerne l'hydrogéologie, qui est le produit de la géologie du terrain, on a pu identifier dans la plaine d'Azzaba deux complexes aquifères ayant des charges piézométriques très proches : le complexe aquifère des dépôts de l'Oligocène et celui du Paléocène-Eocène. Ces deux complexes sont séparés par les roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien. Sur les terrains avoisinants, situés au Nord Est, on trouve un autre horizon aquifère dans les alluvions récentes.

Au niveau de la plaine de Guerbès, également, deux nappes, la première une nappe libre localisée au niveau des formations sableuses, surmontant une nappe profonde contenue dans les alluvions. L'ensemble des deux aquifères à nappe libre et captive se confondent vers l'Ouest de la plaine

L'examen des cartes piézométriques met en évidence dans la plaine d'Azzaba un écoulement orienté vers le cours d'eau de surface (oued Fendek), et dans le secteur côtier (plaine de Guerbès) l'écoulement caractérisé par un dôme piézométrique constituant une ligne de partage des eaux souterraines.

L'étude du chimisme des eaux souterraines de la région a démontrée un faciès chimique différents d'une zone à l'autre, bicarbonaté calcique, chloruré sodique dans les eaux du massif dunaire de Guerbès, sulfaté sodique, sulfaté magnésien dans les eaux de plaine de Azzaba.

Concernant les eaux de surfaces le faciès chimique dominant est Chloruré calcique au niveau de l'oued Fendek, et bicarbonaté calcique, bicarbonaté sodique au niveau de l'oued Kébir Ouest.

La qualité des eaux souterraines de la région d'étude est menacée par le taux de Na Cl très élevé surtout du massif dunaire de Guerbès, et des teneurs élevées en Hg et en Pb dans les eaux de la plaine d'Azzaba, jusqu'à (80 µg /l) ont été retrouvées dans la nappe Oligocène.

L'indice d'altération global des eaux de l'oued Kébir Ouest est de 18 %, ce qui les met dans la quatrième classe avec une qualité mauvaise, et d'après le résultat de diagramme de Wilcox, les eaux qui représentent oued Fendek sont admissibles.

Dans la région d'Azzaba les prélèvements en eau de surface sont de l'ordre de 6.294 Hm<sup>3</sup>, dont 2.824 Hm<sup>3</sup> destinée à l'irrigation (soit 44.87 %) et 3.47 Hm<sup>3</sup> à l'AEP (soit 55.13 %), et les prélèvements en eau souterraine tout usage confondu sont de l'ordre de 7.29 Hm<sup>3</sup>, avec 43.89 % destiné à l'AEP, 54.86 % destiné à l'AEA et 1.23 % destiné à l'AEI.

Dans la région de Guerbès les prélèvements en eau de surface sont de l'ordre de 1.55 Hm<sup>3</sup>, dont tout ce volume est exploité par l'agriculture, et les prélèvements en eau souterraine sont de l'ordre de 1.428 Hm<sup>3</sup>, avec 5 % destiné à l'AEP, 95 % destiné à l'AEA.

L'estimation des besoins en eau pour les trois usagers principaux, dans la région Azzaba-Guerbès, actuellement et dans les trois horizons (2014, 2020 et 2030) montre une augmentation de 12.76 Hm<sup>3</sup> en 2014 à 16.84 Hm<sup>3</sup> en 2030, passant par 14.28 Hm<sup>3</sup> en 2020 dans la région d'Azzaba ; et

une augmentation de 2.775 Hm<sup>3</sup> en 2014 à 4.685 Hm<sup>3</sup> en 2030, passant par 3.783 Hm<sup>3</sup> en 2020 dans la région de Guerbès.

L'irrigation est le premier consommateur d'eau dans la région Azzaba-Guerbès, avec plus de 74 % et 97 % des besoins actuelles et projetées dans les deux régions successivement, vu la grande superficie agricole et le type des cultures irriguées et le sol.

L'augmentation des besoins en eau potable dans le temps due essentiellement à l'augmentation de la population.

L'industrie est jugée un utilisateur faible en matière d'eau, qui pompe des quantités d'eau négligeables par rapport aux autres usagers.

La demande en eau est à satisfaire non seulement du point de vue quantité mais devant répondre aussi aux exigences de qualité, donc il est indispensable de :

- L'amélioration du réseau d'observation hydrométrique par l'implantation des nouvelles stations de jaugeage et des stations pluviométriques.
- Un suivi systématique de la piézométrie peut d'avoir une convergence numérique des ressources en eau souterraine disponibles.
- La sensibilisation des agriculteurs sur l'impact de l'utilisation en excès des engrais sur la qualité des eaux souterraines est très importante.
- Il faut éviter le déversement direct des égouts dans les oueds sans traitement au préalable.
- L'implantation des stations d'épuration des eaux usées, et leur réutilisation pour l'agriculture et l'industrie éventuellement.
- Effectuer plus de prélèvements réguliers et représentatifs pour le contrôle de la qualité des eaux.
- Une gestion appropriée et une utilisation adéquate des ressources en eau.

Finalement, nous espérons que cette étude que nous avons menée au niveau de la région Azzaba-Guerbès a apporté un certain nombre d'informations et de précision, qui pourront orienter de futurs travaux dans le domaine de l'évaluation des ressources en eau dans le contexte de la maîtrise et de la gestion intégrée des ressources en eau.

## Liste des références

- **AFFOUN S, 2006.** Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le Bassin Versant de la Mafragh, Mémoire de Magister, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 166 pages.
- **BENHAMZA M, 2007.** Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba), détermination du degré de pollution, Thèse de Doctorat d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 134 pages.
- **BENHAMZA M, 2013.** Aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « Foggara » dans la région d'Adrar, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 130 pages.
- **BEN RABAH S, 2006.** Etat actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (essai de synthèse), bilan-gestion-perspective, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 150 pages.
- **BOULEKNAFET Z, 2008.** Ressources en eau et perspectives de gestion intégrée dans le bassin versant d'El Kébir Ouest, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 120 pages.
- **BOURBIA H, KHALDI H, 2009.** Etude hydrogéologique et évaluation des ressources en eau dans la région de Ben Azzouz (wilaya de Skikda), Mémoire d'ingénieur, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 96 pages.
- **CASTANY. G, 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie .Edition Dunod, Paris, France, 236 pages.
- **CHAIB W, 2006.** Vulnérabilité d'une nappe alluviale à la pollution minérale et organique-Cas de la plaine d'Azzaba, Nord-Est Algérien, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 128 pages.
- **DAIFLLAH T, 2008.** Ressource en eau et Gestion Intégrée dans le Bassin Versant de l'Oued Kébir Ouest (Nord-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie 177 pages.

- **DJABA H, 2010.** Ressources en eau et perspectives de gestion intégrée dans le bassin versant de Medjerda (Souk Ahras, Nord-Est d'Algérie), Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie 155 pages.
- 
- **ERIC GILLI, CHRISTIAN MANGAN, JACQUES MUDRY, 2004.** Hydrogéologie : Objets, méthodes, applications, Paris, France, 292 pages.
- **HADJ-SAID S, 2007.** Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière : cas de la nappe de Guerbès, Thèse de Doctorat d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 188 pages.
- **HANNOUCHE M, 2007.** Hydrogéologie et fracturation dans les massifs calcaires et granitiques (socle) de la région de Skikda, Nord-Est Algérien. Différents types de diaclases et chronologie tectonique. Apport à la recherche de l'eau. Thèse de Doctorat d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 181 pages.
- **HEOUAINE A, TATAT N, 2008.** Qualité des eaux superficielles et souterraines de la région d'Azzaba-Relation entre minéraux et solutions, Mémoire d'ingénieur, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 124 pages.
- **KHAMMAR C, 1981.** Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Kébir Ouest, Wilaya de Skikda (Algérie).
- **KHELFAOUI F, 2008.** Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin versant de Saf-Saf (Nord-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 129 pages.
- **LAHONDERE J.C, 1987.** La série ultra tellienne d'Algérie Nord Orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Thèse de doctorat d'état, Montpellier, 238 pages.
- **MECIBAH I, 2008.** Les ressources en eaux et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 205 pages.

- **MEDJANI F, 2007.** Ressources en eau, vulnérabilité et développement durable dans la plaine de Skikda (Nord-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 88 pages.
- **NECHEM D, 2009.** Qualité des eaux des sources thermales-Cas des sources du Djebel Safia (Hadjar Soud), Nord Est Algérien, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 91 pages.
- **PDAU 2012 :** Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Djendel Saadi Mohamed.
- **PDAU 2012 :** Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune d'Azzaba.
- **POS 2012 :** Plan d'occupation de sol de la commune d'Azzaba.
- **Revue des Sciences et de la Technologie 2013.** Numéro 27, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- **RAOULT J.F, 1974.** Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Nouvelle série tome II. Mém. Soc. Géol. France, p 121-163.
- **Vila J.M, 1969.** Relations paléogéographiques et structurales entre le Flysch de Penthèvre et les unités de dorsale Kabyle dans la région d'Azzaba (Nord du Constantinois, Algérie), 554 pages.
- **Vila J.M, 1980.** La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat d'état, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 665 pages.

# Annexe

**Annexe 1:** Distribution interannuelle des précipitations mensuelles en (mm) à la station d'Azzaba (1980/1981-2010/2011)

**Annexe 2:** Distribution interannuelle des précipitations mensuelles en (mm) à la station d'Ain Charchar (1980/1981-2012/2013)

**Annexe 3:** Distribution interannuelle des précipitations mensuelles en (mm) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)

**Annexe 4 :** Températures moyennes interannuelles en (°C) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)

**Annexe 5 :** Humidités relatives moyennes interannuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)

**Annexe 6 :** Vitesses moyennes interannuelles du vent en (m/s) à la station de Skikda

**Annexe 7 :** Les lignes directrices de l'OMS et celle Algériennes en ce qui concerne la qualité de l'eau potable

**Annexe 1: Distribution interannuelle des précipitations mensuelles en (mm) à la station d'Azzaba  
(1980/1981-2010/2011)**

<b>Mois Années</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>Total</b>
<b>80 /81</b>	32.2	40.1	120.0	88.1	67.4	65.2	21.4	16.9	12.4	11.5	0.3	2.2	477.7
<b>81 /82</b>	3.2	36.3	40.4	144.9	118.6	111.9	113.4	65.2	27.7	00	0.6	16.7	678.9
<b>82 /83</b>	1.5	148.1	206.2	120.2	26.3	10.4	104.5	20.4	13.6	1.1	1.3	00	653.6
<b>83 /84</b>	23.3	24.3	213.1	64.2	174.7	226.8	35.2	38.1	16.0	5.7	00	0.4	821.8
<b>84 /85</b>	26.9	147.8	3.6	280.4	128.8	62.2	159.8	38.3	34.8	00	00	1.2	883.8
<b>85 /86</b>	47.7	14.9	40.0	35.0	146.6	56.8	90.3	33.5	1.3	7.4	1.3	0.9	475.7
<b>86 /87</b>	22.6	83.4	122.6	175.6	106.6	264.8	101.8	40.4	60.5	00	00	00	978.3
<b>87 /88</b>	00	38.7	85.7	24.3	75.7	76.3	65.0	7.3	18.8	29.3	00	00	421.1
<b>88 /89</b>	44.9	00	32.6	190.7	46.1	60.9	50.0	71.8	1.4	2.3	00	00	500.7
<b>89 /90</b>	9.9	74.6	52.9	35.1	143.1	00	30.8	49.3	36.1	27.9	00	26.2	485.9
<b>90 /91</b>	00	42.3	145.6	302.6	92.5	80.7	68.6	24.5	40	18	00	3.1	817.9
<b>91 /92</b>	44.1	139.9	43.9	1.3	87.6	73.1	62.3	156.3	19.6	8.4	1.3	0.3	638.1
<b>92 /93</b>	00	12.3	50.9	190.6	76.5	62.6	64.4	56.8	55.5	6.1	00	00	575.7
<b>93 /94</b>	19.2	61.1	14.6	117.3	94.0	10.3	1.2	52.4	26.6	00	00	00	396.7
<b>94 /95</b>	6.9	81.1	26.8	136.2	269.4	7.9	94.8	7.2	00	2.3	00	0.4	633
<b>95 /96</b>	39.4	2.1	78.8	78.1	70.7	226.1	57.3	31.4	11.5	00	00	1.7	597.1
<b>96 /97</b>	37.3	6.1	13.6	96.4	64.9	25.7	18.7	19.8	0.3	15.3	00	10	308.1
<b>97 /98</b>	15.7	95.3	200.1	149.2	68.3	119.7	94.0	57.2	100.4	5.3	00	2.1	907.3
<b>98 /99</b>	69.1	64.3	343.7	100.4	149.9	119.8	74.7	51.1	29.1	13.3	00	6.2	1021.6
<b>99 /00</b>	2.7	22.5	79.3	124.5	68.3	16.9	8.4	6	86.9	3.1	00	2.3	420.9
<b>00 /01</b>	00	47.6	27.3	84.6	170.2	101.4	17.4	44.6	11.9	00	00	00	505
<b>01 /02</b>	41.4	9.8	48.5	45.3	32.5	80.9	6.3	28.2	1.6	00	2.9	16.9	314.3
<b>02 /03</b>	7.0	26.4	197.8	168.8	190.5	131.7	26.3	76.8	10.6	00	00	00	835.9
<b>03/ 04</b>	65.2	21.0	27.4	170.8	111.2	12.9	39.9	57.0	35.3	40.5	00	6.8	588
<b>04 /05</b>	51.4	11.4	231.4	234.1	98.3	144.1	58.9	84.3	00	1.3	00	5.9	921.1
<b>05/ 06</b>	2.7	6.0	19.8	167.5	166.1	100.6	27.5	5.9	8.1	00	00	5.8	510
<b>06 /07</b>	11.1	74.2	22.0	157.5	22	38.0	199.4	20.7	2.7	3.5	1.7	00	552.8
<b>07 /08</b>	44	175	85.9	150.5	15.9	23.0	75.3	52.3	37.1	00	00	2.1	661.1
<b>08 /09</b>	44.7	83	129.5	82.0	44.7	55.4	65.7	42.3	12.6	1.3	00	3.4	564.6
<b>09/10</b>	146	55.4	72.6	112.2	126.6	40.8	28.9	20.5	15.7	4.7	00	00	623.4
<b>10/11</b>	10.2	135.5	159.3	58.1	52.8	173.7	94.3	27.5	22.9	11.7	4.3	00	750.3
<b>Moyenne</b>	28.07	57.44	94.71	125.37	100.22	83.25	63.11	42.06	24.23	7.10	0.44	3.70	629.69

**Annexe 2: Distribution interannuelle des précipitations mensuelles en (mm) à la station d'Ain  
Charchar (1980/1981-2012/2013)**

<b>Mois Années</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>Total</b>
<b>80 /81</b>	16.7	64.1	162.5	174.0	61.3	57.7	65.1	23.8	5.7	25.0	00	00	655.9
<b>81 /82</b>	7.9	27.5	18.1	146.1	122.9	113.9	108.5	74.0	35.6	3.3	00	13.2	671
<b>82 /83</b>	18.4	100.0	174.6	102.4	20.5	16.4	104.8	3.2	13	4.9	0.7	00	558.9
<b>83 /84</b>	51.1	70.6	84.3	64.9	207.2	206.1	72.6	49.2	18.5	10.1	2.3	00	836.9
<b>84 /85</b>	32.8	150.3	39.0	348.1	116.4	58.0	171.1	22.9	37.4	00	00	00	976
<b>85 /86</b>	35.7	45.1	29.9	38.0	153.0	65.2	69.6	31.4	11.1	5.6	4.8	2.5	491.9
<b>86 /87</b>	27.3	117.0	156.8	164.4	110.2	175.9	127.0	17.3	80.3	1.6	3.3	00	981.1
<b>87 /88</b>	36.0	32.2	64.8	30.4	91.7	97.4	52.8	23.4	38.5	53.1	00	00	520.3
<b>88 /89</b>	41.6	00	83.0	174.8	65.7	42.5	67.3	75.5	6.4	15.3	00	2.1	574.2
<b>89 / 90</b>	18.7	83.8	117.9	57.9	128.1	0.5	52.8	66.3	25.9	12.2	00	15.8	579.9
<b>90 /91</b>	2.0	60.2	80.1	233.8	95.8	80.5	123.4	35.7	52.0	28.8	1.0	4.2	797.5
<b>91 /92</b>	50.3	119.3	43.2	15.5	47.8	107.1	57.9	154.5	84.6	18.2	8.0	00	706.4
<b>92 /93</b>	2.2	31.9	131.4	240.8	71.2	45.7	59.0	21.6	45.7	2.1	00	1.1	652.7
<b>93 /94</b>	25.2	30.7	12.1	125.2	100.9	122.3	1.2	77.5	12.9	00	00	8.2	516.2
<b>94 /95</b>	15.6	53.1	14.1	134.8	262.6	13.7	88.2	19.4	00	7.4	00	00	608.9
<b>95 /96</b>	70.5	34.6	39.5	71.0	120.8	162.9	41.2	58.2	45.1	2.7	00	00	646.5
<b>96 /97</b>	40.7	50.4	44.1	65.1	65.2	17.8	12.5	21.1	7.9	18.8	00	22.6	366.2
<b>97 /98</b>	36.4	147.2	186.0	189.6	72.6	88.2	61.4	47.0	115.3	12.1	00	6.6	962.4
<b>98 / 99</b>	76.0	78.0	295.2	39.0	46.9	56.2	10.3	51.1	43.1	8.1	11.1	00	715
<b>99 /00</b>	11.2	17.2	93.3	131.2	76.0	20.5	18.3	39.1	121.5	6.6	00	6.2	541.1
<b>00 /01</b>	16.5	70.0	48.4	179.9	209.7	87.4	27.9	86.5	36.9	00	00	1.5	764.7
<b>01 /02</b>	47.2	4.1	119.9	104.2	81.2	107.1	31.0	74.1	10.4	00	26.0	14.8	620
<b>02 /03</b>	8.7	61.6	227.8	257.1	277.5	119.0	17.8	108.1	35.8	00	00	00	1113.4
<b>03/ 04</b>	74.6	57.2	32.3	287.3	177.0	11.6	143.2	217.1	104.5	60.0	00	00	1164.8
<b>04 /05</b>	91.0	20.4	197.5	222.3	154.6	197.7	52.3	109.0	10.0	23.7	4.2	23.5	1106.2
<b>05/ 06</b>	39.4	18.0	68.2	151.2	100.3	109.1	25	10.5	11.8	00	5.6	9.1	548.2
<b>06 /07</b>	35.0	51.2	33.6	107.5	21.3	87.1	311.1	160.4	39.1	1.5	00	18.2	866
<b>07 /08</b>	30.1	215.5	307.2	305.5	60.5	34.6	219.8	7.0	99.7	8.8	7.5	8.1	1304.3
<b>08 /09</b>	127.1	30.1	129.5	205.2	333.5	303.1	157.8	205.2	90.2	00	00	30.7	1612.4
<b>09/10</b>	173.0	204.6	72.6	254.6	312.3	165.7	127.7	76.5	87.0	00	00	11.0	1485
<b>10/11</b>	71.2	237.0	213.3	189.9	149.0	238.5	108.0	81.1	152.5	69.0	2.5	1.5	1513.5
<b>11/12</b>	44.0	129.1	58.7	300.3	83.8	341.5	67.0	46.5	13.5	00	00	42.5	1126.9
<b>12/13</b>	54.8	115.0	77.5	101.1	251.1	280.2	109.2	63.5	29.6	7	10.0	36.0	1135
<b>Moyenne</b>	43.30	76.58	104.74	157.97	128.75	110.03	83.72	65.38	46.11	12.30	2.64	8.47	839.98

**Annexe 3: Distribution interannuelle des précipitations mensuelles en (mm) à la station de Skikda  
(1980/1981-2012/2013)**

<b>Mois Années</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>Total</b>
<b>80 /81</b>	19	88	151	240	87	101	51	39	17	21	1	46	861
<b>81 /82</b>	14	67	37	188	141	128	121	59	37	7	0.5	12	811.5
<b>82 /83</b>	14.6	100	232	156	21	37	70	13	23	0.7	0.5	8	675.8
<b>83 /84</b>	55	91	119	62	204	161	104	52	22	14	0	0.9	884.9
<b>84 /85</b>	68	148	27	343	148	76	172	21	29	0	0	2	1034
<b>85 /86</b>	42	22	66	50	162	82	88	55	12	18	13	3	613
<b>86 /87</b>	24	86	149	157	140	246	89	36	82	4	11	1	1025
<b>87 /88</b>	14	30	116	50	111	111	55	36	37	24	0	1	585
<b>88 /89</b>	50	4	130	147	48	53	23	148	2	9	5	0	619
<b>89 / 90</b>	33	83	69	100	157	1	75	85	22	31	4	41	701
<b>90 /91</b>	0	66	123	326	89	104	103	34	25	5	0	13	888
<b>91 /92</b>	49	118	51	30	109	87	120	144	60	28	7	1	804
<b>92 /93</b>	9	38	39	237	53	78	63	39	69	6	1	1	633
<b>93 /94</b>	36	85	40	136	116	120	0	142	12	0	1	4	692
<b>94 /95</b>	58	102	6	170	219	25	107	32.2	3	19	0	12.3	753.5
<b>95 /96</b>	100	9	48	55.1	65	192	59.3	92	46.4	14	1	4	685.8
<b>96 /97</b>	38	95	49	102	66	13.3	18	34.2	72	27	0	4	518.5
<b>97 /98</b>	69	190	174	148.2	82	104.2	43	57.3	129.2	11	0	25	1032.9
<b>98 / 99</b>	81	26	198	86	116.7	106	72.4	32	15	4	1	8	746.1
<b>99 /00</b>	29.5	25	106.1	238	61	20	21	16	119	43	0	5	683.6
<b>00 /01</b>	18	52	36.7	102	150	87	11	48	28	0	0	5	537.7
<b>01 /02</b>	65	2	103	95	47.5	121.6	21.4	59.1	10.1	1	22.1	30.6	578.4
<b>02 /03</b>	35.9	85	244	215	276	114	35	99	14	2	0	0	1119.9
<b>03/ 04</b>	114	47	37	169	121.2	12.9	139.9	97	65.3	20	1	0	824.3
<b>04 /05</b>	56	26	284	166	156	189	65.2	99	7	0.1	0	64	1112.3
<b>05/ 06</b>	34	25.5	90	181	127.5	85	41	15	7.8	9	1	3	619.8
<b>06 /07</b>	29	65	24.1	229	23.3	56	141	62	24	33	2	6	694.4
<b>07 /08</b>	50	74	96	144	32	24	171	146	60	4.3	1	3	805.3
<b>08 /09</b>	81	67.1	84	119	251	110	90	107	59.8	0	2	8	978.9
<b>09/10</b>	203	83.3	119	137	133	54.9	85	28.5	78	28.6	4	5	959.3
<b>10/11</b>	21	164	164.3	79.3	57.4	169	75.8	48.4	39.9	8.8	7.9	0	835.8
<b>11/12</b>	33.6	125.2	64.1	125	56.5	192.3	72.2	117.4	1.8	1.1	4	51.9	845.1
<b>12/13</b>	62.6	28.5	72.1	68	132.2	200.1	69.8	45	52.4	14.1	2.6	50.8	798.2
<b>Moyenne</b>	48.67	70.23	101.47	146.99	113.92	98.83	74.94	64.79	38.84	12.35	2.84	12.71	786.58

**Annexe 4 : Températures moyennes interannuelles en (°C) à la station de Skikda  
(1980/1981-2012/2013)**

<b>Mois Années</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>
<b>80 /81</b>	22.35	17.82	15.45	9.86	9.82	10.94	13.88	15.80	17.71	20.88	22.50	23.44
<b>81 /82</b>	22.86	19.99	14.58	15.40	13.53	12.28	13.27	14.78	18.13	22.90	26.76	24.78
<b>82 /83</b>	23.04	20.06	16.14	12.03	10.95	10.93	13.27	16.28	18.58	21.75	26.56	25.09
<b>83 /84</b>	23.88	20.44	17.76	14.06	12.48	12.43	12.52	14.96	17.30	20.48	24.75	23.72
<b>84 /85</b>	22.25	18.82	17.33	13.01	11.03	14.26	12.28	16.34	17.89	21.89	24.91	24.31
<b>85 /86</b>	22.77	20.39	17.34	13.74	12.14	12.21	13.43	15.35	19.38	20.93	23.95	25.89
<b>86 /87</b>	23.54	21.38	16.45	12.78	12.25	12.78	12.98	16.18	17.29	21.43	24.83	26.21
<b>87 /88</b>	25.46	22.92	16.54	14.93	13.94	11.91	14.13	15.90	18.94	21.80	24.91	25.84
<b>88 /89</b>	22.43	21.87	16.55	12.40	11.42	12.46	14.97	15.94	17.95	21.40	25.12	26.30
<b>89 / 90</b>	23.77	20.03	17.34	16.10	12.56	14.38	14.43	15.38	18.73	21.93	24.56	24.76
<b>90 /91</b>	25.45	21.91	16.93	11.72	11.48	11.24	15.14	14.00	15.89	21.10	24.34	25.60
<b>91 /92</b>	24.72	20.28	15.36	12.07	10.94	11.68	13.33	15.04	17.82	20.91	23.09	25.16
<b>92 /93</b>	24.10	19.93	16.64	13.57	11.12	11.11	12.88	15.48	19.05	21.87	24.20	25.72
<b>93 /94</b>	23.36	20.80	15.83	13.42	12.94	13.16	14.34	14.51	19.50	21.57	25.30	28.17
<b>94 /95</b>	25.19	21.06	17.87	13.88	12.54	14.49	13.45	14.95	19.61	21.60	24.41	25.73
<b>95 /96</b>	23.28	20.90	17.42	15.70	15.63	12.80	14.35	16.08	18.44	21.54	24.50	25.72
<b>96 /97</b>	22.09	18.39	17.11	15.20	14.06	13.30	13.59	15.82	19.84	23.44	24.31	26.26
<b>97 /98</b>	24.47	21.57	17.20	14.56	12.98	16.60	14.61	17.00	18.74	23.69	25.02	25.88
<b>98 / 99</b>	24.50	19.24	14.08	12.46	12.70	11.20	14.85	16.25	20.78	23.40	25.04	27.69
<b>99 /00</b>	25.61	23.29	15.89	13.47	10.44	13.02	14.52	17.45	19.82	28.46	26.25	27.02
<b>00 /01</b>	24.39	20.42	17.35	14.62	13.87	12.72	17.88	16.12	19.00	23.75	25.61	26.71
<b>01 /02</b>	24.09	23.26	16.27	12.32	11.50	12.77	15.34	16.36	19.44	23.13	24.95	27.35
<b>02 /03</b>	23.65	20.98	17.61	14.66	12.44	11.46	14.48	18.94	19.31	25.42	28.14	29.16
<b>03/ 04</b>	24.49	22.10	17.02	12.97	10.50	12.90	14.20	16.20	19.50	21.68	24.78	26.82
<b>04 /05</b>	23.66	22.57	15.12	13.60	10.19	10.06	13.34	16.41	20.07	23.70	26.31	25.64
<b>05/ 06</b>	23.33	21.60	16.92	12.57	11.11	11.99	14.94	18.23	21.00	23.06	26.67	26.08
<b>06 /07</b>	24.02	22.77	18.37	17.02	13.67	14.45	13.88	17.17	20.16	22.70	25.53	26.41
<b>07 /08</b>	23.85	20.69	15.87	18.87	13.07	13.29	13.97	17.50	19.78	22.52	26.25	26.72
<b>08 /09</b>	24.02	21.10	16.06	12.73	12.58	12.14	13.47	15.56	20.55	23.28	26.61	26.79
<b>09/10</b>	24.21	20.24	17.11	15.57	13.26	14.24	14.91	16.70	18.48	21.70	25.42	25.33
<b>10/11</b>	23.46	20.45	16.67	14.12	12.52	12.24	14.71	17.29	19.19	22.14	25.83	26.60
<b>11/12</b>	24.58	20.72	17.56	13.90	12.47	9.46	14.25	16.57	18.86	24.01	25.27	27.60
<b>12/13</b>	20.97	21.65	16.80	13.92	12.60	11.24	15.82	16.40	18.14	20.46	24.89	25.55
<b>Moyenne</b>	23.75	20.90	16.62	13.86	12.26	12.49	14.16	16.15	18.94	22.44	25.20	26.06

**Annexe 5 : Humidités relatives moyennes interannuelles en (%) à la station de Skikda  
(1980/1981-2012/2013)**

<b>Mois Années</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>
<b>80 /81</b>	76.80	74.80	74.80	75.90	73.90	80.10	83.30	79.80	75.90	76.00	73.70	77.10
<b>81 /82</b>	76.20	73.70	77.30	65.80	75.08	76.90	73.20	79.40	81.70	77.70	72.10	79.30
<b>82 /83</b>	79.40	77.20	74.60	76.60	79.60	79.80	77.60	75.80	74.70	76.10	69.20	83.00
<b>83 /84</b>	73.10	78.50	84.40	76.20	81.10	80.50	81.70	76.70	73.50	73.50	71.50	84.70
<b>84 /85</b>	75.10	83.30	66.40	79.10	77.20	77.40	79.10	73.90	76.80	74.90	73.70	76.10
<b>85 /86</b>	80.10	78.70	75.90	79.20	72.10	70.20	78.20	74.10	77.50	80.70	79.70	79.10
<b>86 /87</b>	78.80	78.40	83.60	85.80	71.70	82.80	76.90	77.30	76.50	73.00	79.90	76.50
<b>87 /88</b>	74.10	67.50	71.30	80.40	70.50	77.20	72.60	81.70	82.20	81.90	77.20	77.40
<b>88 /89</b>	80.80	72.80	80.60	77.10	77.30	74.70	76.30	74.90	79.40	75.10	76.40	76.20
<b>89 / 90</b>	77.00	81.10	75.90	69.90	76.10	72.30	74.20	74.80	80.00	78.60	71.80	76.30
<b>90 /91</b>	72.10	73.50	71.80	72.60	71.00	74.50	73.27	71.90	70.80	72.30	69.00	70.00
<b>91 /92</b>	76.80	70.90	70.40	66.40	74.80	74.10	74.00	73.00	76.10	69.40	76.70	71.70
<b>92 /93</b>	71.20	68.20	72.10	69.50	72.60	72.60	68.80	69.80	73.00	75.00	70.00	71.40
<b>93 /94</b>	68.80	67.90	70.00	74.80	71.60	67.30	76.20	70.00	72.40	70.50	68.76	65.50
<b>94 /95</b>	67.50	75.20	73.00	73.30	69.10	69.30	67.20	68.70	64.40	76.50	72.70	71.70
<b>95 /96</b>	68.40	70.50	62.10	69.40	67.30	68.50	69.60	70.80	73.00	72.70	66.70	71.00
<b>96 /97</b>	68.70	70.50	64.30	63.20	64.90	75.30	71.10	66.70	72.60	70.90	73.80	71.00
<b>97 /98</b>	73.10	71.90	71.70	66.60	72.40	76.40	69.00	68.50	76.30	69.10	70.60	57.10
<b>98 / 99</b>	70.30	72.00	76.10	74.40	75.70	73.10	70.20	70.70	74.00	73.90	69.10	73.70
<b>99 /00</b>	72.20	65.60	75.80	73.30	76.00	72.50	74.10	66.30	81.80	77.90	68.40	62.50
<b>00 /01</b>	72.90	71.60	69.20	74.40	85.80	71.60	65.90	70.60	76.40	67.30	72.40	74.30
<b>01 /02</b>	76.00	73.50	78.30	78.50	78.00	74.00	73.60	77.20	69.30	71.90	75.40	80.50
<b>02 /03</b>	79.00	73.20	75.70	80.70	77.90	75.00	73.20	79.80	77.60	70.86	69.60	64.30
<b>03/ 04</b>	76.10	75.70	79.30	79.50	N	N	N	N	N	78.70	75.00	72.00
<b>04 /05</b>	74.10	72.50	81.00	77.60	80.90	81.20	80.50	76.20	75.40	75.90	70.95	73.10
<b>05/ 06</b>	73.40	76.20	74.90	72.90	77.00	76.00	70.70	72.68	74.50	70.60	71.20	68.70
<b>06 /07</b>	69.70	67.50	66.40	75.50	86.20	70.40	75.60	77.70	70.19	76.10	72.90	69.50
<b>07 /08</b>	71.40	75.50	72.10	76.10	76.40	71.80	73.20	65.60	75.50	76.70	71.20	73.20
<b>08 /09</b>	71.70	75.10	67.20	72.60	75.70	70.00	72.80	70.90	70.20	64.80	65.90	71.44
<b>09/10</b>	70.70	69.70	63.90	64.60	67.10	63.70	66.40	73.90	67.90	70.50	70.90	70.10
<b>10/11</b>	68.10	67.00	66.40	59.60	73.00	70.80	68.00	71.80	73.10	73.10	66.20	71.20
<b>11/12</b>	71.30	65.20	72.10	69.80	69.20	75.60	72.10	67.60	70.00	69.00	67.10	68.50
<b>12/13</b>	63.10	66.70	66.80	66.20	68.40	67.50	61.00	68.90	71.00	67.80	71.40	70.00
<b>Moyenne</b>	73.27	72.78	72.89	73.26	74.55	73.85	73.11	73.05	74.49	73.60	71.85	72.67

**Annexe 6 : Vitesses moyennes interannuelles du vent en (m/s) à la station de Skikda  
(1980/1981-2012/2013)**

<b>Mois Années</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>
<b>80 /81</b>	2.61	3.7	4.3	4.4	4.7	2.8	2.5	2.7	3.5	3.8	4.3	3.3
<b>81 /82</b>	4.1	4.0	3.9	5.6	3.9	2.9	3.7	3.0	2.2	1.8	1.8	2.4
<b>82 /83</b>	2.5	3.40	8.7	3.0	2.7	2.4	3.3	3.0	2.5	2.7	2.8	3.0
<b>83 /84</b>	3.1	3.3	3.4	4.2	3.8	4.72	3.2	2.9	3.3	2.7	2.7	2.8
<b>84 /85</b>	2.9	3.1	3.4	4.5	3.9	3.2	3.2	3.9	2.8	2.7	2.5	2.9
<b>85 /86</b>	2.6	3.03	3.1	3.1	3.8	3.7	3.0	3.4	2.6	3.2	2.9	2.7
<b>86 /87</b>	2.7	3.1	3.3	3.9	3.9	3.1	3.34	2.6	2.4	2.5	2.4	2.2
<b>87 /88</b>	2.39	2.7	3.2	2.5	3.29	2.5	3.3	2.1	2.5	2.3	2.3	3.1
<b>88 /89</b>	3.1	2.7	2.79	3.8	2.37	2.9	2.7	2.9	2.0	2.0	2.4	2.2
<b>89 / 90</b>	2.57	2.6	2.3	2.2	2.3	2.2	2.4	1.8	2.1	1.84	2.2	2.21
<b>90 /91</b>	2.15	2.4	3.1	2.86	2.05	2.1	2.58	2.38	2.08	1.86	1.38	1.75
<b>91 /92</b>	1.92	2.08	2.22	3.1	2.19	2.33	2.18	3.21	2.26	2.35	1.82	1.95
<b>92 /93</b>	2.01	2.36	2.71	3.9	4.24	4.23	3.89	3.9	3.28	3.13	3.06	2.78
<b>93 /94</b>	3.15	3.42	3.58	4.54	4.6	4.98	3.33	4.08	3.55	3.87	3.33	3.4
<b>94 /95</b>	3.88	3.43	3.34	3.9	5.72	3.73	4.21	4.13	3.96	3.65	3.4	3.95
<b>95 /96</b>	3.6	3.51	4.7	3.9	4.2	4.97	3.42	3.16	2.8	2.85	2.4	2.64
<b>96 /97</b>	3.32	3.76	4.08	4.19	3.7	3.23	3.71	3.73	3.16	2.72	2.89	2.6
<b>97 /98</b>	2.65	3.33	3.37	4.03	3.76	3.2	3.64	3.24	2.6	2.46	2.7	2.3
<b>98 / 99</b>	2.63	2.67	3.9	3.73	3.2	3.79	3.62	3.28	2.56	2.49	2.83	2.4
<b>99 /00</b>	2.89	2.81	3.36	3.93	3.02	3.44	2.4	2.98	2.02	2.11	2.4	2.3
<b>00 /01</b>	2.65	2.65	3.16	3.86	3.5	3.3	3.29	3.3	2.16	2.45	2.27	2.23
<b>01 /02</b>	1.99	2.2	2.9	3.2	2.84	3.2	2.47	2.78	2.43	2.1	2.2	2.7
<b>02 /03</b>	2.6	2.52	3.7	3.1	4.12	3.21	2.46	2.64	N	N	N	N
<b>03/ 04</b>	N	3.0	3.95	6.18	N	N	N	N	N	3.27	3.25	3.2
<b>04 /05</b>	3.5	2.8	3.46	4.1	3.17	3.8	2.55	2.9	2.52	2.44	2.59	2.69
<b>05/ 06</b>	2.42	2.5	3.3	3.79	3.59	3.32	4.13	2.98	2.8	3.25	2.6	3.29
<b>06 /07</b>	2.98	3.08	3.6	3.41	3.4	3.65	4.7	3.35	3.97	3.8	3.88	3.7
<b>07 /08</b>	3.6	4.2	4.1	4.3	3.9	3.6	3.9	3.52	2.66	3.3	3.4	3.32
<b>08 /09</b>	3.8	3.4	3.8	3.8	3.9	4.3	3.7	3.8	3.6	3.33	3.13	3.33
<b>09/10</b>	3.6	4.0	3.8	4.1	3.9	3.6	3.6	3.15	3.44	3.4	3.4	3.34
<b>10/11</b>	3.71	3.7	3.7	3.8	3.5	4.3	3.4	3.3	3.0	3.24	3.3	3.29
<b>11/12</b>	3.24	3.6	2.9	4	4.0	4.1	3.0	3.4	3.1	2.9	3.5	3.2
<b>12/13</b>	3.1	3.2	3.0	3.8	3.8	4.06	3.6	3.3	3.5	3.3	3.2	3.0
<b>moyenne</b>	2.94	3.10	3.58	3.84	3.59	3.46	3.26	3.15	2.82	2.81	2.79	2.82

**Annexe 7 : Les lignes directrices de l'OMS et celle Algériennes en ce qui concerne la qualité de l'eau potable**

<b>Elément / substance</b>	<b>Symbole / formule</b>	<b>Lignes directrices fixées par l'OMS des eaux potables</b>	<b>Lignes directrices Algériennes des eaux potables</b>
Chlore	Cl	250 mg/l	500 mg/l
Conductivité	CE	400 $\mu$ S/cm	3125 mg/
Fer	Fe	0.2 mg/l	0.3 mg/l
Plomb	Pb	0.01 mg/l	-
Sodium	Na	200 mg/l	-
Sulfate	SO <sub>4</sub>	250 mg/l	-
Calcium	Ca	>200 mg/l	200 mg/l
Potentiell d'hydrogène	PH	6.5-8.5 mg/l	6.5-8.5
Magnesium	Mg	50 mg/l	150 mg/l
potassium	K	12 mg/l	-