

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche SCIENTIFIQUE*

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

*Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel*

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : des Sciences de la Terre et de  
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: علوم الأرض و الكون

## **Mémoire de fin d'études**

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

**Option : Eau & environnement**

### **Thème**

**Evaluation future de la demande en eau du sous-bassin  
Rhumel-Smendou (10-06)**

#### **Membres de Jury**

**Président : F.Kessasra**  
**Examineur: S.Chaddad**  
**Encadrant : H.Kiniouar**

**Présenté par :**  
**Dehibi Nehla**  
**Abdelouahab Samia**

**Année Universitaire 2017-2018**

**Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# ***Remerciement***

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

*IL est temps pour nous d'exprimer mes remerciement à tous ceux qui m'ont apporté aide et conseils durant les réalisations de ce travail en particulier :*

*Monsieur Dr.Kiniouar Hocine qui nous a suivi et encadrés efficacement pendant 6 mois, sa disponibilité de tous les jours et des nombreux et fructueux conseils ont fortement contribués à créer l'excellence condition de travaille*

*Nous voudrions également remercier monsieur Kessasra.F et Melle Chaddad.S. d'avoir accepté de juger ce travail « Merci beaucoup».*

*Nous voudrions également remercier mes enseignants au département de Géologie de l'Université de Jijel, et surtout mes enseignants de l'option Eau et Environnement « Merci beaucoup».*

*E fin , nous tienons à saluer toute personne qui de prés ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travaille*

# Dédicace

Remercie à mes chers parents Rachid , Louiza aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour ; Éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, Bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

Mes chers frères et sœur ; Walid, Iman, Ahmed, Sara et ma petite sœur Noor El Houda, que Je les aime profondément. Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À ma grande famille ; Mon grand-père et grand-mère à mes oncles mes tantes et mes cousins. Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, J'espère que Dieu vous protégera tous et que votre vies seront pleines d'amour et de bonheur et seront toujours de mon côté.

À mes amis ; Les plus précieux de ma vie : Rima, Karima, Iman Arz, Fouzia Fi, FouziaThg, Abir, Iman Bou, Youssera, Sara KH, Faten et Nehla .Le souvenir des beaux et merveilleux moments que j'ai passés avec vous, si Dieu le veut, garde notre amitié pour toujours .

À la personne la plus précieux et la plus chers de ma vie, mon fiancé, Mon futur mari Toufik Dekhemouch et sa famille ; j'espère que Dieu nous bénisse dans notre relation et nous donne le succès dans tous notre vie personnelle et pratique.

**SAMIA**



## *Dédicace*

Remercie à mes chers parents Fatiha, Abd Allah aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour ; Éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, Bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

Mes chers frères et sœur ; Sabrina, Redouan et Ses filles Aya, Aridj et Tassenim ,Zina, Mourad et Son fils Adem , Soulef et Radjaa ; se sont les mieulleurs soeurs dans le monde et mes frères Mouad, Chamsou Fauad, Mehdi, Mouhamed et leur fammes les oiaseaux de la maiseau Lojaine, Ritadj Selma et Aala que Je t'aime profondéments.je vous souhaite une vie pleines de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

Pour tous mes amis ;Les plus précieux de ma vie Le souvenir des beaux et merveilleux moments que j'ai passés avec vous, si Dieu le veut, garde notre amitié pour toujours .

*Nehla*

## Résumé

L'Algérie est l'un des pays les plus pauvres en ressources hydriques renouvelables, avec une capacité de stockage annuelle de 18,9 milliards de m<sup>3</sup>, dont les bassins versants du Nord représentent 7% de la superficie et 90% du ruissellement total du pays.

Dans cette étude, nous évaluons la demande en eau pour répondre aux besoins des utilisateurs de l'eau du sous bassin Rhumel-Smendou. Ce dernier fait partie du grand bassin de Kébir-Rhumel avec la codification (10-06) selon l'ABH-CSM.

En utilisant le système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP), nous avons construit un modèle de gestion de la ressource et de la demande en eau des trois principaux secteurs : l'AEP, l'agriculture et l'industrie dans le sous-bassin étudié. En choisissant 2007 comme année du compte courant, un scénario de «demande en eau» a été calculé par le modèle WEAP pour simuler les incertitudes sur la période de 43 ans (2008-2050). Cinq hypothèses clés DE références pour cette année et cinq d'autres hypothèses, avec des taux différents ont été proposées. Il s'agit de : (1) Croissance démographique, (2) augmentation des terres irriguées, (3) diminution de la consommation d'eau potable de base, (4) diminution de la consommation d'eau d'irrigation et (5) augmentation de la consommation industrielle.

Les résultats obtenus ont montré que le scénario (3) est le meilleur scénario alternatif et le plus efficace car il pourra réduire la demande en eau potable à environ 31,3 Mm<sup>3</sup> en 43 ans. Alors que le scénario (1) est le plus défavorable, car il pourra augmenter la demande en eau pour les trois secteurs à 129,7 Mm<sup>3</sup> en 43 ans.

**Mots clés :** Ressources en eau, modèle WEAP, demande en eau, scénarios, hypothèses, sous-bassin Rhumel-Smendou.

## **ABSTRACT**

Algeria is one of the poorest countries in renewable water resources, with an annual storage capacity of 18.9 billion m<sup>3</sup> in the Mediterranean coastal watersheds, representing 7% of the area and representing 90% of total runoff

In this study, we assess the water demand to meet the needs of water users under Rhumel Smendou-basin. The latter is located in the large Kébir-Rhumel basin with the code (10-06) in the ABH-CSM.

Using the Water Evaluation and Planning System (WEAP), we constructed a water demand and resource management model for the three main sectors: Drinking Water Supply, agriculture and industry in the sub-basin studied. By choosing 2007 as current account year, a business as usual and five scenarii of «water demand » were calculated by the WEAP model to simulate the uncertainties over the period of 43 years (2008-2050) : (1) Population growth, (2) increase in irrigated crop lands, (3) decrease in basic drinking water consumption, (4) decrease in basic irrigation water consumption and (5) increase in basic industrial water consumption.

The results showed that scenario 3 is the best alternative scenario and the most efficient because it can reduce the demand for drinking water by about 31.3 Mm<sup>3</sup> in 43 years and scenario (1) is the most unfavorable as it will increase demand by 129.7 Mm<sup>3</sup> in 43 years.

Keywords : Water resources, WEAP model, water demand, scenarios, sub-basin, Rhumel-Smendou.

## المخلص

تعتبر الجزائر واحدة من أفقر البلدان من حيث موارد المياه المتجددة، مع قدرة تخزين سنوية تبلغ 18.9 مليار متر مكعب في مستجمعات المياه الساحلية المتوسطة، وتمثل 7 ٪ من المساحة وتمثل 90 ٪ من إجمالي الجريان السطحي من البلاد.

في هذه الدراسة، قمنا بتقييم الطلب على المياه لتلبية احتياجات مستخدمي المياه في حوض رمال-السمندو الفرعي. ويقع هذا الأخير في حوض كبير-رمال تحت الرمز (10-06) عن وكالة الحوض المائي-ABH-ABH .CSM

باستخدام نظام تقييم وتخطيط المياه(WEAP21) ، قمنا ببناء نموذج لتقدير الطلب على المياه في حوض رمال السمندو الفرعي. اختيار عام 2007 كسنة مرجعية تم حساب سيناريو "الطلب على المياه" الأساسي من قبل نموذج WEAP لمحاكاة حالات عدم اليقين خلال فترة 43 سنة (2008-2050) في حوض رمال-السمندو الفرعي من خلال تنفيذ 5 سيناريوهات: (1) النمو السكاني، (2) الزيادة في الأراضي المروية، (3) انخفاض استهلاك مياه الشرب الأساسية، (4) انخفاض استهلاك مياه الري الأساسية، (5) زيادة استهلاك المياه الصناعية الأساسية.

أظهرت النتائج أن السيناريو 3 هو أفضل سيناريو بديل والأكثر كفاءة لأنه يمكن أن يقلل من الطلب على مياه الشرب بنحو 31.3 مليون متر مكعب في 43 عامًا والسيناريو (1) هو الأكثر سلبية حيث أنه سيزيد الطلب بمقدار 129.7 مليون متر مكعب في 43 سنوات.

**الكلمات المفتاحية:** الموارد المائية، نموذج WEAP، الطلب على المياه، السيناريوهات، الحوض الفرعي، رمال-السمندو.



# Sommaire

Remerciement .....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Introduction Générale .....	1

## Chapitre I : Cadre générale

I.1. Introduction.....	6
I.2. Situation de la région d'étude .....	6
I.2.1. Réseau hydrographique .....	7
I.2.2. Climat .....	8
I.2.3. Morphologie.....	9
I.3. Situation de sous bassin Rhumel-Smendou.....	10
I.4. Contexte socioéconomique .....	10
I.4.1. Population.....	10
I.4.1.1. Alimentation en eau potable des agglomérations.....	11
I.4.1.2. Assainissement.....	12
I.4.2. Agriculture .....	13
I.4.3. Industrie.....	14
I.4.3.1. Industrie Agro - alimentaire .....	14
I.4.3.2. Matériaux de construction .....	14
I.4.3.3. Industrie chimique et pharmaceutique .....	15
I.4.3.4. Opportunités d'investissement .....	15

## Chapitre II : Cadre géologique

II.1. Géologie régionale .....	17
II.1.1. Introduction.....	17
II.1.2. Domaine interne .....	17
II.1.2.1. Socle kabyle.....	17
II.1.2.2. Dorsale kabyle .....	18
II.1.2.3. Domaine des flyschs .....	18
II.1.2.3.1. Flysch massylien.....	18

II.1.2.3.2. Flysch mauritanien.....	18
II.1.2.3.3. Flysch numidien.....	19
II.1.3. Domaine externe .....	19
II.1.3.1. Séries telliennes .....	19
II.1.3.2. Unités ultra telliennes .....	19
II.1.3.3. Unités telliennes sensu stricto.....	19
II.1.3.4. Unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites .....	19
II.1.3.5. Série de l'avant pays allochtones .....	20
II.1.3.6. Organisation sétifienne.....	20
II.1.3.7. Organisation constantinoise .....	20
II.2. Géologie locale .....	21
II.2.1. Introduction.....	21
II.2.2. Mésozoïque .....	21
II.2.2.1. Trias.....	21
II.2.2.2. Jurassique.....	22
II.2.3. Crétacé.....	22
II.2.3.1. Crétacé inférieur .....	22
II.2.3.2. Néocomien.....	22
II.2.3.3. Barrémien .....	22
II.2.3.4. Aptien.....	23
II.2.3.5. L'albien.....	23
II.2.3.6. Cénomaniens.....	23
II.2.4. Crétacé supérieur .....	23
II.2.4.1. Turonien.....	23
II.2.4.2. Sénonien.....	23
II.2.5. Cénozoïque .....	24
II.2.5.1. Paléogène.....	24
II.2.5.2. Néogène .....	24
II.2.6. Quaternaire .....	24
II.2.7. Conclusion.....	26

## **Chapitre III : Cadre hydrogéologique**

III.1. Introduction .....	28
III.2. Le domaine des Hautes-Plaines Sud-Constantinoises .....	28
III.3. Bassin néogène de Constantine-Mila .....	28
III.4. Exutoires des massifs et leurs situations .....	29
III.4.1. Djebels Guerioum et Fortas .....	29
III.4.1.1. Source de Fesguia .....	29
III.4.1.2. Source du Boumerzoug .....	29
III.4.2. Djebels Oum Settas et Mazela .....	30
III.5. Nappes au niveau des plaines .....	30
III.5.1. Nappe de la vallée de l'Oued Boumerzoug et El Khroub .....	30
III.5.2. Plaine de Hamma Bouziane .....	31
III.5.2.1. Réseau karstique .....	31
III.5.2.2. Le transfert souterrain des eaux .....	31
III.6. Contexte hydrogéologique des aquifères de Constantine .....	32
III.6.1. Aquifère Crétacé .....	32
III.6.2. Aquifère Mio-Plio-Quaternaire .....	32
III.7. Conclusion .....	33

## **Capitre IV : Cadre hydroclimatologique**

IV.1. Introduction .....	35
IV.2. Précipitations .....	35
IV.2.1. Précipitations moyennes mensuelles .....	35
IV.2.2. Précipitations moyennes annuelles .....	36
IV.3. Température .....	37
IV.4. Relation températures-précipitations .....	37
IV.5. Le bilan hydrologique .....	38
IV.5.1. Interprétation du bilan hydrique .....	41
IV.5.2. Exploitation du bilan hydrologique .....	42
IV.6. Conclusion .....	43

## **Chapitre V : Etat de la ressource et le système hydraulique en eau du sous bassin du Rhumel- Smendou**

V.1. Introduction.....	45
V.2. Gestion de l'eau .....	45
V.3. la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE).....	46
V.3.1. Principes de la gestion intégrée des ressources en eau .....	47
V.3.2. Avantages de la GIRE.....	48
V.3.2.1. Avantages environnementaux.....	48
V.3.2.2 . Avantages agricoles.....	48
V.3.2.3. Avantages de l'approvisionnement en eau et l'assainissement .....	49
V.4. Problème de l'eau .....	50
V.4.1. En Méditerranée.....	50
V.4.1.1. Demande en eau croissante .....	50
V.4.1.2. Impacts du changement Climatique.....	50
V.4.2. En Algérie.....	51
V.4.3. dans le bassin versant du Rhumel .....	52
V.5. Ressources en eau .....	53
V.5.1. Ressources superficielles.....	53
V.5.1.1. Les Oueds.....	53
V.5.1.2. Barrages .....	53
V.5.2. Ressources sous terrain.....	54
V.6. Demande en eau .....	54
V.6.1. La distribution eau potable par commune .....	54
V.7. Conclusion.....	60

## **Chapitre VI : Modélisation et simulation en eau de sous bassin Rhumel-Smendou**

VI.1. Système d'Aide à la Décision et modélisation .....	63
VI.1.1 Water Evaluation And Planning system .....	63
VI.2. Principaux objectifs du logiciel.....	64
VI .3. Analyse du scénario .....	64
VI.4. Fonctionnement du logiciel.....	65
VI.4.1. Création d'une zone d'étude .....	65
VI.4.2. Création des hypothèses Clés de références .....	65

VI.4.2.1. Hypothèses clés .....	65
VI.4.2.2. Références .....	65
VI.4.3. Proposition de Scénarios .....	65
VI.4.4. Saisie des données.....	66
VI.5. Données utilisées .....	67
VI.5.1. Paramétrisation des sites de ressources .....	67
VI.5.1.1. Ressources souterraines .....	67
VI.5.1.2. Eaux de surface.....	69
VI.5.1.3. Barrages .....	69
VI.5.1.4. Retenues collinaires .....	70
VI.6. Calibrage des sites de demande .....	70
VI.6.1. Sites de demande urbains .....	70
VI.6.2. Sites de demande agricoles.....	72
VI.6.3. Sites de demande industriels.....	72
VI.7. Priorités des sites de demande et préférences des sites de ressources.....	73
VI.7.1.1. Alimentation en eau potable .....	73
VI.7.1.2. Agriculture .....	73
VI.7.1.3. Industrie.....	73
VI.8. Schématisation du modèle conceptuel.....	73
VI.9. Modèle des comptes courants.....	74
VI.9.1 Scénario de référence.....	75
VI.10. Résultat de simulation du scénario des comptes actuels .....	67
VI.10.1. Scénarios “Et qu'est-ce qui se passerait si ? ” .....	77
VI.10.2. Hypothèses Clés des Scenarios “Et qu'est-ce qui se passerait si ?.....	77
VI.11. Résultat de simulation des cinq scénarios.....	78
VI.11.1. Scénario 1 : Croissance démographique .....	78
VI.11.2. Scénario 2 : Augmentation de la superficie des terres irriguées .....	79
VI.11.3. Scénario 3 : Diminution de la consommation de base d'eau potable .....	79
VI.11.4. Scénario 4 : Réduction de la consommation élémentaire en eau d'irrigation ...	80
VI.11.5. Scénario 5 : Augmentation de la consommation d'eau pour l'industrie .....	81
VI.12. Discussion .....	82
VI.13. Conclusion.....	83
Conclusion générale.....	85

## Chapitre I : Cadre générale

Figure.I.1. Situation géographique du bassin versant Kébir-Rhumel.....	7
Figure.I.2. Réseau hydrographique du bassin versant du Kébir-Rhumel. ....	8
Figure.I.3. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Derouiche, 2008) .....	9
Figure.I.4. Situation du sous Bassin Rhumel-Smendou .....	10
Figure I.5 Carte des densités de population de la wilaya de Constantine (PAW, 2011) ..	11
Figure.I.6. Répartition la densité de la population par commune (PAW, 2008). ....	11
Figure.I.7. Répartition de l'AEPV par commune (PAW, 2008).....	12

## Chapitre II : Cadre géologique

Figure.II.1. Schéma structural de la méditerranée occidentale (Delga, et F ;1980).....	17
Figure.II.2 Situation actuelle de la plateforme néritique constantinoise (Carte modifiée d'après D. Bureau ,1970 et J.M.Vila, 1980) .....	21
Figure.II.3. Coupe géologique du Miopliocène à l'Est immédiat de Constantine. ....	24
Figure.II.4. carte géologique de la région de Constantine. (SoChapitreurce : R. Bougdal et D.Belhai-2004).....	26

## Chapitre III : Cadre hydrogéologique

Figure.III.1. Les grands domaines hydrogéologiques du Kébir-Rhumel(Mebarki A. et Thomas C., 1988).....	29
Figure.III.2. Localisation des massifs dans leur contexte géologique de Constantine (Tirée de la carte géologique de Constantine, J.M VILA, 1977). ....	30
Figure.III.3. Log hydrogéologique de la région d'étude (Boularak, 2003). ....	33

## Chapitre IV : Cadre hydroclimatologique

Figure.IV.1. précipitation moyenne mensuelle station d'Ain El Bey (2008-2017).....	35
Figure.IV.2. Répartition saisonnière de la pluie station de Ain El Bey (2008-20017).....	36
Figure.IV.3. précipitation moyenne annuelles station d'Ain El Bey (2008-2017).....	36
Figure.IV.4. Histogramme représentation de la température moyenne mensuelle durant la Période (2008-2017) (Station d'Ain El Bey). ....	37
Figure.IV.5 . Diagramme Ombrothermique (Station Ain El Bey 2008-2017).....	38
Figure.IV.6. Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite .....	41

## Chapitre V : Etat de la ressource et le système hydraulique en eau du sous bassin du Kébir- Smendou

Figure.V.1. Sources d'approvisionnement en eau actuelles des pays méditerranéens ..	50
Figure.V.2. Evolution des ressources en eau par habitant dans les pays de Sud et de l'Est de la Méditerranée entre 2000 et 2050 .....	51
Figure.V.3. ressources en eau actuelle renouvelable par habitant en 2005 (FAO, 2008) .....	52
Figure.V.4 . Carte des bassins versant de l'Est algérien (ABH-CSM) .....	52
Figure.V.5. Schéma synoptique de distribution de la ville de Constantine (DHW ,2010). .....	55
Figure.V.6. Schéma synoptique de l'AEP de la commune de Hamma Bouziane (DHW, 2010).....	56
Figure.V.7. Schéma synoptique de l'AEP de la commune d'Ibn Ziad (DHW, 2010). .....	57
Figure.V.8. Schéma synoptique de l'AEP de la commune de Didouche Mourad (DHW, 2010).....	58
Figure.V.9. Schéma synoptique de l'AEP de la commune de Zighoud Youcef (DHW, 2010). .....	58
Figure .V.10. Schéma synoptique de l'AEP des localités de Messaoud Boudjeriou centre et Messida - commune de Messaoud Boudjeriou (DHW, 2010). .....	59
Figure .V.11. Schéma synoptique de l'AEP de la localité de Beni Hamidene Commune de Beni Hamidene centre (DHW, 2010).....	60

## **Chapitre VI : Modélisation et simulation de la demande en eau de sous bassin Rhumel-Smendou**

Figure.VI.1. Organigramme du fonctionnement du logiciel (Rakotondrabe, 2007). .....	66
Figure.VI.2. Alimentation en eau potable à partir des eaux souterraines en Mm <sup>3</sup> / mois..	67
Figure.VI.3. Approvisionnement en eau à partir du Cénomaniens Mm <sup>3</sup> / mois .....	67
Figure.VI.4. Approvisionnement pour l'irrigation à partir des eaux souterraines.....	68
Figure.VI.5. Approvisionnement pour l'industrie à partir des eaux souterraines en Mm <sup>3</sup> / mois.....	68
Figure.VI.6. Alimentation en eau potable à partir des eaux de surface .....	69
Figure.VI.7. Capacité des barrages. ....	69
Figure.VI.8. Alimentation en eau potable en Mm <sup>3</sup> /mois depuis les barrages.....	69
Figure.VI.9. Approvisionnement pour l'irrigation à partir des retenues .....	70
Figure.VI.10. Nombre d'habitants par commune (ONS, 2008) .....	71
Figure.VI.11. Taux d'accroissement de la population .....	71
Figure.VI.12. Consommation annuelle en m <sup>3</sup> /cap .....	71

Figure.VI.13. Surfaces irriguées en % de la surface totale .....	72
Figure.VI.14. Consommation annuelle en eau pour l'industrie .....	72
Figure.VI.15. Schéma du modèle conceptuel de distribution des ressources en eau du bassin versant de Rhumel-Smendou.....	74
Figure.VI.16. Demande en eau pour tous les sites (Année des comptes courants 2007) .....	75
Figure.VI.17. Hypothèses clés de référence.....	76
Figure.VI.18. Toutes les demandes de sites de demande d'eau (Scénario de référence). .....	77
Figure.VI.19. Scénario1 : accroissement de la population.....	78
Figure.VI.20. Scénario 2 : Augmentation de la superficie des terres irriguées. ....	79
Figure.VI.21. Scénario 3 : Diminution de la consommation d'eau potable élémentaire ..	80
Figure.VI.22. Scénario 4 : Réduction de la consommation d'eau d'irrigation élémentaire.....	81
Figure.VI.23. Scénario 5 : Augmentation de la consommation d'eau pour l'industrie .....	82
Figure.VI.24. Représentation des cinq scenarii (2007-2050).....	83



**Chapitre I : Cadre générale**

Tableau.I.1. Les barrages dans le bassin Kébir-Rhumel (ABH, 2004).....12

**Chapitre IV : Cadre hydroclimatologique**

Tableau. IV.1 coordonnées de la station d'Ain El Bey.....35

Tableau.IV.2. Calcul de l'ETP selon Thornthwaite.....40

TableauIV.3. Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle durant la période  
2008-2017 (Station Ain El Bey).....41

**Chapitre V : Etat de la demande en eau de sous bassin Rhumel-Smendou**

Tableau.V.1. Les barrages du bassin Kébir-Rhumel (ABH, 2004) Sous bassins  
Dénomination Commune Wilaya Capacité (hm<sup>3</sup>).....53

# Introduction Générale

L'eau est une ressource essentielle et limitée en particulier dans la région semi-aride méditerranéenne. Atteindre une gestion des ressources en eau durable est un objectif global commun dans cette région. Cela exige un équilibre entre les besoins de la population et la protection des ressources naturelles, sans nuire à l'intégrité du cycle hydrologique ou des systèmes écologiques qui en dépendent, de sorte que ces ressources en eau peuvent continuer à offrir des avantages pour l'amélioration des moyens de subsistance des gens et leur qualité de vie, de réduire la pauvreté et favoriser la croissance économique (Jalala, 2005).

En matière de gestion des ressources en eau, l'approche traditionnelle, sectorielle et fragmentée, a souvent poussé les instances gouvernantes à représenter des intérêts antagoniques. Trop souvent, des objectifs d'action ont été définis sans prendre en compte les implications pour les autres usagers de l'eau et sans consultation au-delà des limites sectorielles et institutionnelles. Par ailleurs, la gestion intégrée de l'eau par bassin versant est un processus qui favorise la gestion coordonnée de l'eau et des ressources connexes à l'intérieur des limites d'un bassin versant en vue d'optimiser, de manière équitable, le bien-être socio-économique qui en résulte, sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux (Partenariat Mondial de l'Eau, 2000).

D'après les projections récentes du Plan Bleu (scénario tendanciel), la demande en eau pourrait encore s'accroître de 50 km<sup>3</sup> d'ici 2025 pour atteindre 330 km<sup>3</sup>/an (pays du Sud et Est). Pour répondre aux besoins croissants en eau, les stratégies nationales continuent à privilégier l'accroissement de l'offre en eau. (Plan Bleu, 2009)

Vulnérable aux changements climatiques, l'Algérie a subi durant les 30 dernières années une sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (Conférence de haut niveau sur l'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique, 2008).

Selon le rapport de 2002, du Plan Cadre des Nations Unies pour la Coopération au Développement UNDAF (2002 – 2006), les ressources en eau exploitables en Algérie, sont estimées à 12,9 milliards de m<sup>3</sup>, dont 6,9 d'eaux souterraines et 6 milliards de m<sup>3</sup> d'eaux de surface.

Selon le Plan Bleu, la région littorale du Nord, qui regroupe les bassins méditerranéens et ne représente que 7% de la surface du territoire national, accapare 90% du total des écoulements superficiels du pays (estimée à 12,4 milliards de m<sup>3</sup> par an), le reste étant partagé entre les Hauts Plateaux pour 6% et les bassins sahariens pour 4%.

Selon les dernières estimations du MRE (2016) les ressources en eaux exploitées en Algérie sont estimées à 18,9 milliard de m<sup>3</sup> par an.

La recherche est sollicitée pour apporter son concours afin d'effectuer des analyses permettant une meilleure gestion intégrée des ressources, tel que l'analyse des coûts, les aspects institutionnels, la participation de l'ensemble des acteurs, les implications environnementales liées au traitement et à la régénération des eaux usées, avec un développement accru de leur réutilisation. (Kerdoun, 1998).

C'est dans ce contexte que viens le choix de faire comme étude de cas, la gestion intégrée des ressources en eau de sous bassin Rhumel-Smendou qui est un défi complexe, qui exige une nouvelle approche, si la gestion doit être fondée sur des résultats scientifiques solides, afin d'optimiser et de conserver les ressources disponibles en eau.

De par ses potentialités économiques et sociales, la wilaya de Constantine se place parmi les wilayas les plus importantes du pays. La wilaya de Constantine se localise au Nord-Est algérien. Elle est composée de 12 communes organisées en 6 Dairates. Englobant, trois sous-bassins, le Boumerzoug, le Rhumel-Seguen, et celui du Rhumel-Smendou, leurs superficies sont respectivement comme suit ; 1832 km<sup>2</sup>, 1150 km<sup>2</sup>, et 1091 km<sup>2</sup> (Mebarki. A, 1982).

Le climat de la région est généralement semi-aride, il présente des amplitudes thermiques très variées surtout au Sud, qui font que la wilaya reçoit bon an mal an entre 400 et 600 mm de pluies et que les besoins pour irriguer les 6500 ha de terres irrigables demeurent la plupart du temps insuffisants.

La région d'étude dispose de 6500 ha (5.08 %) de terres irrigables pour une S.A.U de 127.840 ha (Kherraz, 1994). Principalement à vocation grandes cultures et essentiellement céréalière, la wilaya de Constantine pratique annuellement un système de production qui dans ses grandes lignes tend vers une occupation des sols approximativement identiques d'année en année, avec toutefois une priorité accordée à la pratique des cultures stratégiques parmi lesquelles, les céréales qui occupent chaque année 50 % de la S.A.U de la wilaya et les légumes secs qui constituent également une préoccupation majeure (particulièrement au plan de la réduction des importations).

La wilaya de Constantine est très peuplée, 938 475habitants, avec un taux d'accroissement de 1,5 (ONS, 2008) et une densité de 431.72 habitants au km<sup>2</sup>.

Les potentialités industrielles de la région d'étude sont considérables et constituent un pôle national important doté de trois zones industrielles constituées notamment de 05 complexes en industrie mécanique et 05 unités de matériaux de construction et 06 unités agro-alimentaires et quelques unités de production relevant du secteur privé de faibles tailles.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons réalisé plusieurs travaux, à savoir : la collecte et la structuration des données caractérisant la zone d'étude, l'introduction et le traitement des données et la simulation de différents scénarios de gestion liés à l'augmentation de la demande en eau.

La confrontation des résultats des différentes méthodes débouchera sur des recommandations pour l'élaboration d'un modèle prévisionnel pour la gestion des ressources en eau dans la vallée du Kébir et pour l'étude des différents scénarios d'évolution de ce bassin.

Pour accomplir ce travail, nous avons mis en œuvre le plan suivant :

- un premier chapitre c'est le cadre générale sur la situation géographique, socio-économique, et agriculture de la zone d'étude.
- un deuxième chapitre intitulé « Le cadre géologique » nous donne une idée sur les grands ensembles géologiques structuraux régionaux et locaux.
- un troisième chapitre «cadre hydrogéologique » pour donner un aperçu sur les nappes aquifères de la région ainsi que les exutoires des massifs.
- un quatrième «chapitre hydroclimatologique» consacré à la caractérisation du climat de la zone d'étude.
- un cinquième chapitre présente «Etat de la ressource et le système hydraulique en eau du sous bassin du Kébir- Smendou» consacré pour la GIRE et la demande en eau dans la zone d'étude.
- un dernier chapitre sur la modélisation, simulation et évaluation future de la demande en eau de sous bassin Rhumel-Smendou, en présentant une bibliographie sur le WEAP21 qui est le Système d'Aide à la Décision (SAD) utilisée dans cette étude. En supposons différentes hypothèses pour caractériser cinq scénarii, sur une période de 43 années (2007 à 2050).

Enfin, nous clôturons ce travail par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Cadre Générale**

## I.1. Introduction

L'Algérie fait partie des pays à faibles ressources hydriques au regard des critères internationaux de pénurie.

Les aléas climatiques persistants, doublés d'une forte croissance de la population dans les grands centres urbains ont largement contribué à l'actuelle insuffisance des ressources mobilisables pour les besoins élémentaires du pays.

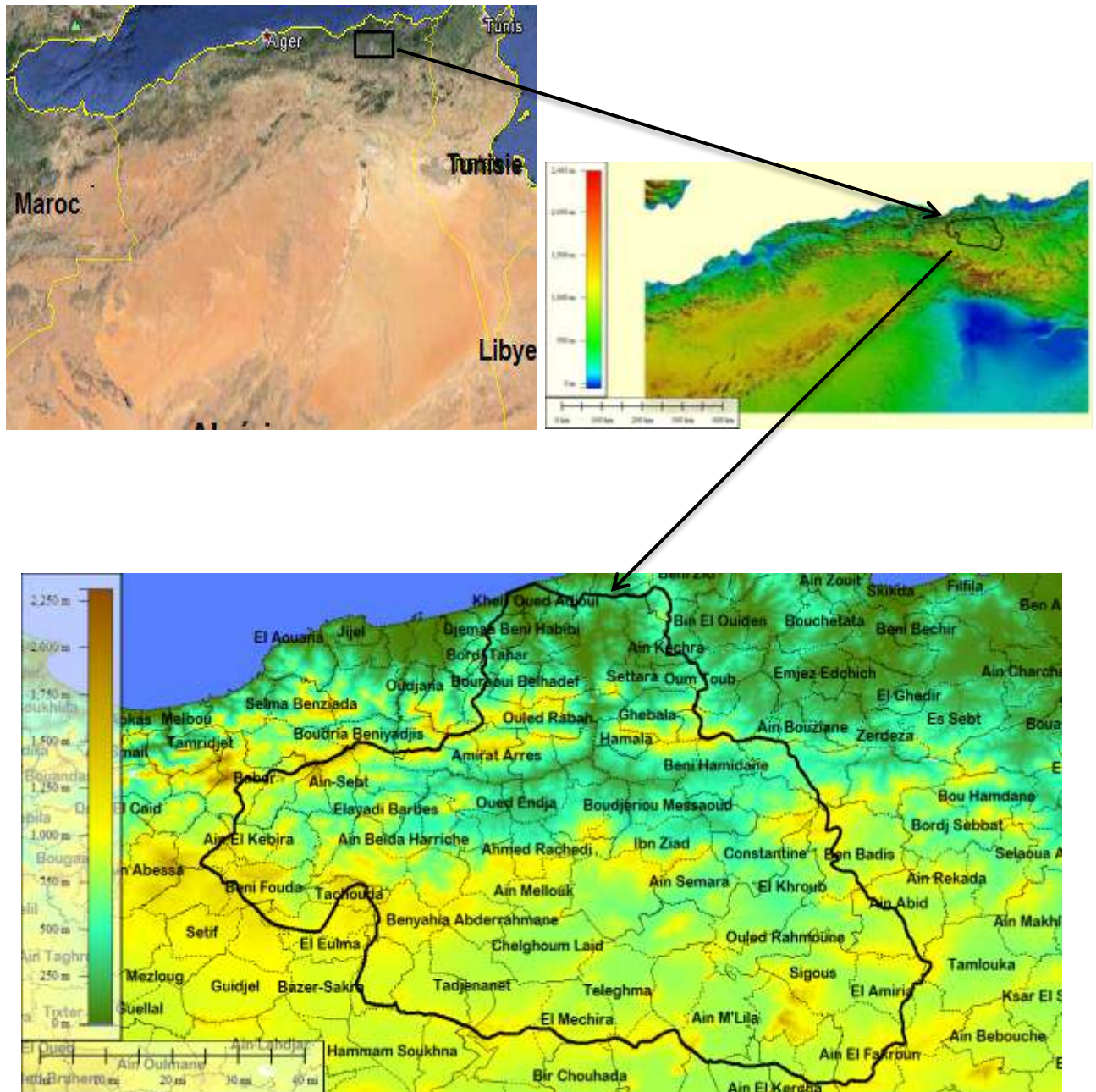
La faiblesse des ressources en eau est par ailleurs aggravée par la mauvaise répartition spatiale des ressources et l'irrégularité saisonnière des apports, les pertes importantes dues à la vétusté des réseaux d'eau domestique et agricole, les problèmes de pollution et d'assainissement et l'insuffisance des infrastructures existantes malgré les efforts de ces dernières années et les coûts d'investissement sans cesse croissants.

La région d'étude fait partie du grand bassin du Kébir-Rhumel, qui est l'un des plus importants et situé dans l'est algérien, avec une superficie de 8111 km<sup>2</sup>, soit 20% du territoire du bassin hydrographique Constantinois-Seybouse- Mellegue (ABH C.S.M. 2002)

## I.2. Situation de la région d'étude

Le bassin Kébir-Rhumel est limité au nord par les deux bassins côtiers constantinois ouest et centre, au sud par le bassin versant des hauts plateaux constantinois, à l'est par le bassin versant de la Seybouse. Il est drainé par deux cours d'eau importants : dans la partie sud, l'oued Rhumel (5315 km<sup>2</sup>) qui parcourt deux zones physico-climatiques distinctes : les hautes plaines semi arides (avec moins de 400 mm de pluies par an), et le piémont Sud-tellien au climat subhumide (600 mm de pluies par an). La partie septentrionale-Ouest L'oued Enndja (2160 km<sup>2</sup>), caractérisée par une pluviométrie relativement élevée (700 mm/an) et un relief accidenté.

Ces principaux oueds s'inscrivent dans un contexte géographique qui présente de l'amont à l'aval des aspects nettement contrastés: au relief plat et dénudé et au chevelu hydrographique assez lâche des hautes-plaines (Figure.I.1).



**Figure.I.1.** Situation géographique du bassin versant Kébir-Rhumel

### I.2.1. Réseau hydrographique

Le bassin du Kébir-Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense totalisant plus de 4200 km. Les oueds Rhumel, Endja, El Kébir et Bumerzoug sont les principaux cours d'eau du bassin(Figure.I.1).

#### ✓ *Oued Rhumel*

C'est l'oued le plus important du bassin, long de plus de 123 km. Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes (région de Bellaa, Wilaya de Sétif), entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'oued Endja et prend ensuite le nom d'El Kébir



✓ *Oued Endja*

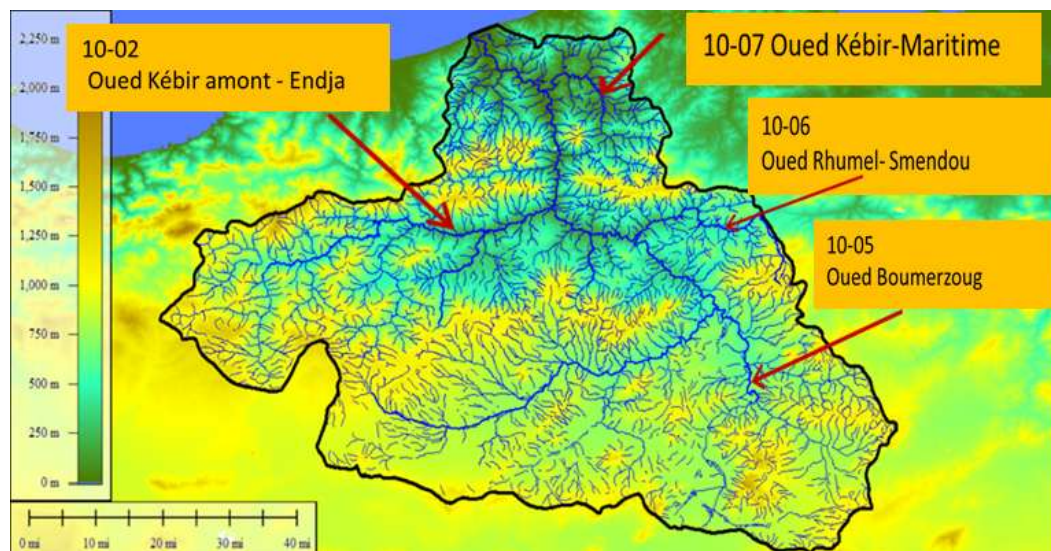
Il prend naissance à la confluence de l'oued Kébir et de l'oued Redjas. Son lit a une forme morphologique très intéressante du point de vue hydrologique. Il s'étend sur une longueur de 15 Km.

✓ *Oued El Kébir*

La confluence des oueds, Rhumel et Endja donne l'oued El Kébir, il fait 56 km de long et se déverse dans la mer méditerranée.

✓ *Oued Boumerzoug*

Il est considéré comme le principal affluent de l'oued Rhumel, il prend sa source dans la région d'Aïn M'lila, dont les eaux sont largement utilisées pour l'irrigation.



**Figure.I.2.** Réseau hydrographique du bassin versant du Kébir-Rhumel.

### I.2.2. Climat

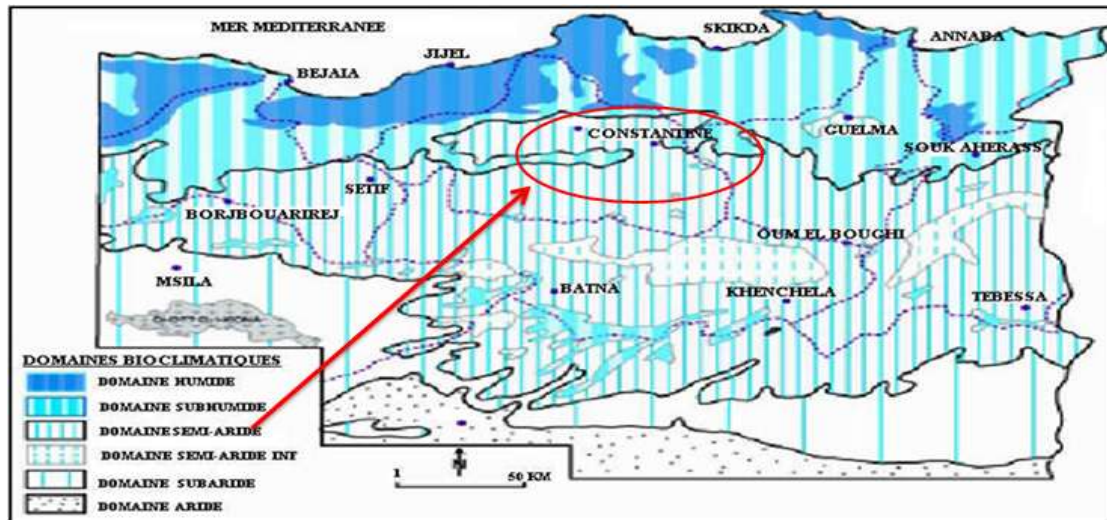
Le climat de la région est généralement méditerranéen au nord à semi-aride au sud. Il présente des amplitudes thermiques très variées surtout au sud de la région. Dans les hautes plaines, la continentalité y est assez Forte.

La direction générale des vents dominants est Nord-Ouest, n'empêche qu'ils soufflent dans toutes les autres directions. Le sirocco souffle plus de 30 jours par an.

Les températures sont marquées par des variations saisonnières et journalières. Loin d'être désertique, la région ne reçoit presque nulle part moins de 250 mm d'eau par an.

Cependant, les pluies sont très irrégulières et ne sont pas réparties de façon homogène sur toute la durée de la période pluvieuse : automne, hiver, printemps. Les séquences pluvieuses courtes et séparées alternant avec les séquences sèches. En période estivale, les précipitations sont

insignifiantes pour ne pas dire nulles. Par contre en période hivernale, on observe le maximum de précipitations (40% environ) (Figure.I.3).



**Figure.I.3.** Carte simplifiée des zones bioclimatiques de la région de Constantine (Derouiche, 2008)

### I.2.3 Morphologie

La région de Constantine est connue par sa morphogenèse complexe, accentuée par l'oscillation des altitudes et des dénivellations.

Le regroupement de Constantine est formé par un ensemble de montagnes peu élevées à crête d'altitude faible (ex. rocher de Constantine), d'orientation Sud-Ouest, Nord-Est.

Ces moyennes montagnes se présentent comme une série de chaînons calcaires plus ou moins parallèles, séparés par des dépressions intramontagnardes souvent occupées par une vallée (vallée de Rhumel, oued Boumerzoug).

Par cela, le compartimentage du relief apparaît comme une mosaïque d'affleurement de roches variées (marnes, calcaires, grès, argiles).

Les roches dures arment les masses montagneuses tandis que les bassins sont creusés dans les affleurements de roches tendres. C'est ainsi que se témoigne la structure complexe.

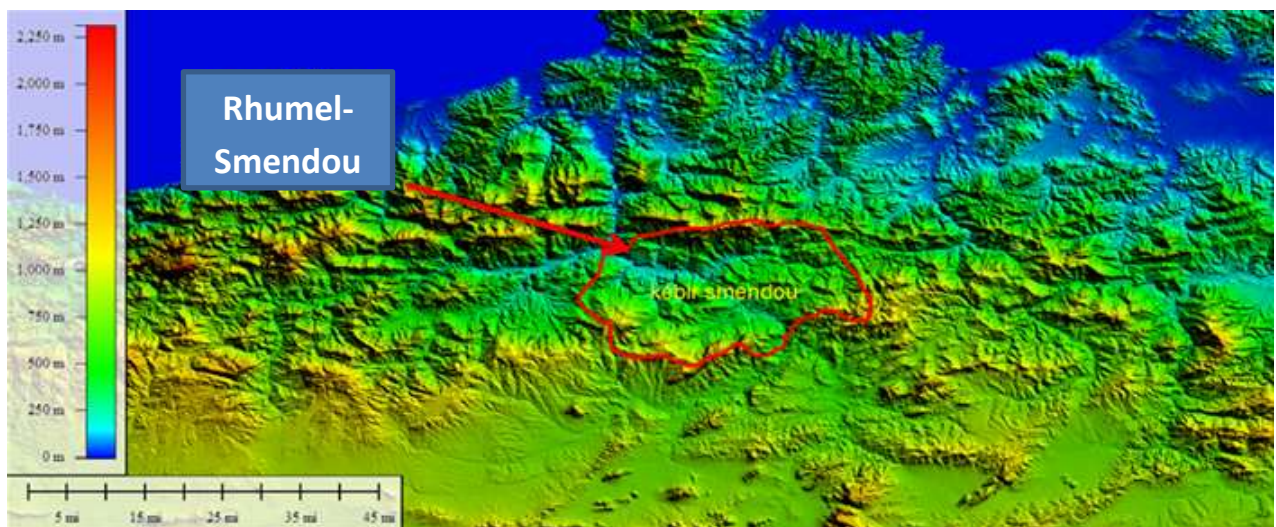
Cela n'empêche qu'on peut distinguer trois régions assez homogènes de la wilaya avec :

- La partie septentrionale caractérisée par une topographie présentant de fortes pentes ;
- La partie médiane caractérisée par une configuration accidentée ;
- La partie méridionale constituée par un relief relativement plat à paysage varié.

### I.3. Situation de sous bassin Rhumel-Smendou

Le sous bassin Rhumel-Smendou représente un des sous-bassins du grand bassin suscité Kébir-Rhumel. Il est limité au nord, au sud et au l'ouest par trois sous-bassins respectivement comme suit, le Kébir-maritime et le Rhumel-Seguen, le Endja, au l'ouest par Oued de Safsaf(Figure.I.4).

Ce sous bassin couvre une grande partie de la région de Constantine ( Les communes de: Constantine, Hamma Bouzian,Zighoud Youssef, Didouche Mourad, Beni Hamidene, Messaoud Boujeriou, Ibn Ziad, et d'outre parmi la willaya de Mila: la commune de Mila, Grarem Ghouga, Ain Tin et Sidi Khelifa.



**Figure.I.4.** Situation du sous Bassin Rhumel-Smendou

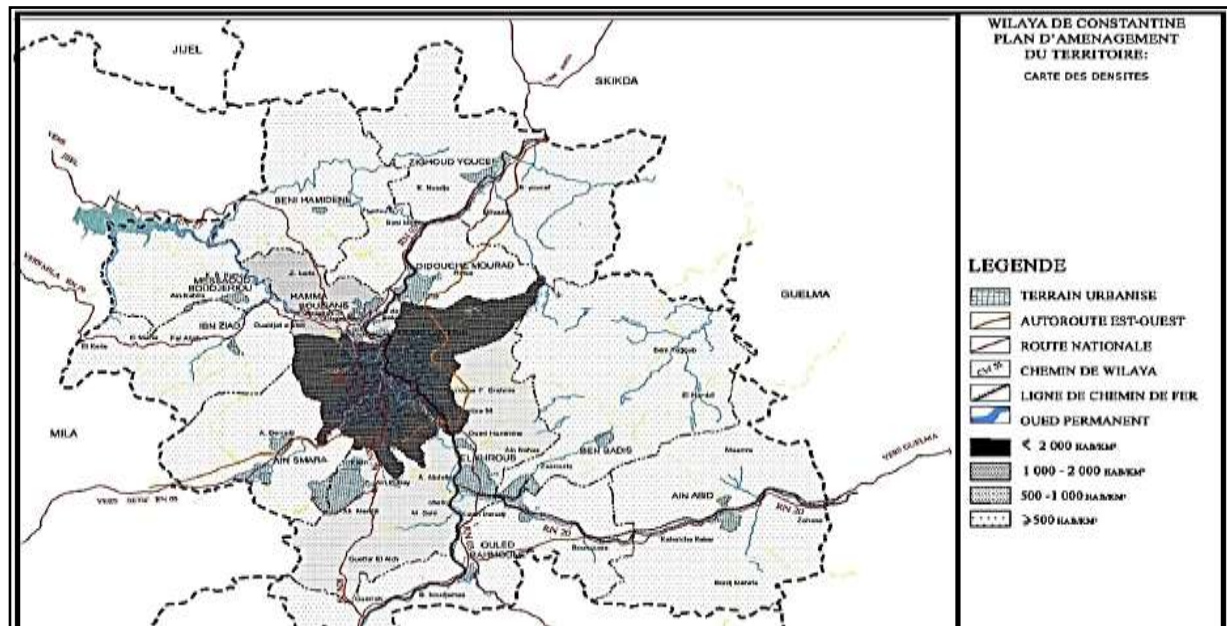
### I.4. Contexte socioéconomique

#### I.4.1. Population

La région de Constantine est très peuplée, 938 475habitants, avec un taux d'accroissement de 1,5 (ONS, 2008) et une densité de 431.72 habitants au km<sup>2</sup>.

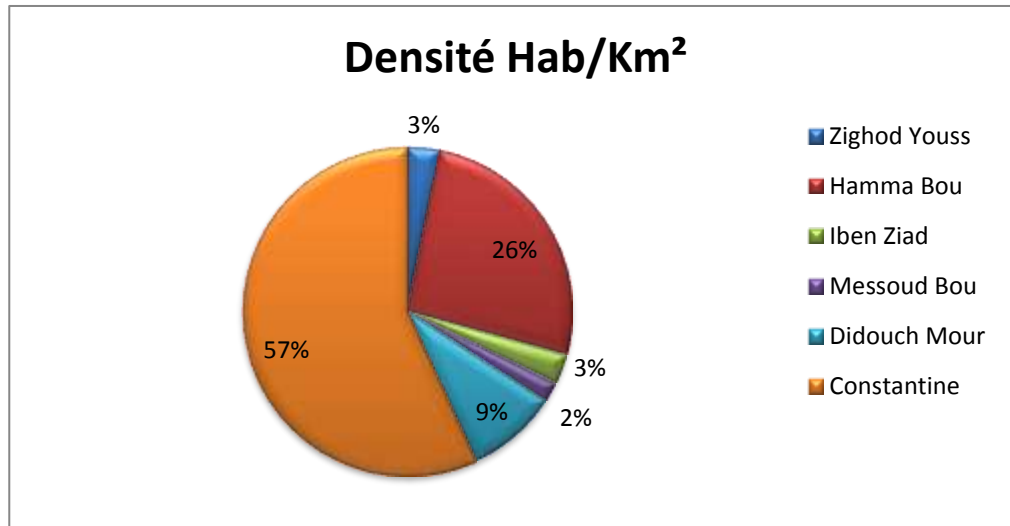
La majeure partie de la population est concentrée au niveau de la couronne qui constitue le grand Constantine en l'occurrence les communes limitrophes (El Khroub, Ain Smara, Hamma Bouziane et Didouche Mourad).

La progression de la population urbaine est très marquée, cette distorsion est peut être liée au niveau d'équipement enregistré au niveau des chefs-lieux de communes, ainsi qu'à la disponibilité de terrains urbanisables, à l'exception de Constantine dont le tissu urbain est saturé (Figure I.5).



**Figure I.5** Carte des densités de population de la wilaya de Constantine (PAW, 2011)

L'accroissement de la population entre les deux recensements généraux de la population et des habitants de 1998 et 2008 est de 127.600 habitant soit un accroissement moyen annuel de 1.6 %.



**Figure.I.6.** Répartition la densité de la population par commune (PAW, 2008).

**I.4.1.1. Alimentation en eau potable des agglomérations**

Parmi les 209 agglomérations du Kébir Rhumel, 160 sont dotées d'un réseau de distribution qui totalise un linéaire de plus de 2010 km et disposent d'un potentiel de stockage d'environ 258.000 m<sup>2</sup> (ABH, 2002).

Le bassin du Kébir-Rhumel compte plusieurs barrages, dont les principaux alimentant la région, d'étude sont : Beni Haroun, Hammam Grouz et Berla mobilisant un volume de 843 hm<sup>3</sup> et trente-trois retenues collinaires en majorité envasée (ABH, 2004).

Tableau.I.1. Les barrages dans le bassin Kébir-Rhumel

Sous bassins	Dénomination	Commune	Wilaya	Capacité (hm <sup>3</sup> )
10-03	Hammam Grouz	Oued Athmania	43	45
10-05	Berla	Ain Smara	25	3.2
10-07	Beni-Haroun	Grarem Gouga	43	795

Le tableau ci-dessus représente les trois barrages du bassin Kébir-Rhumel avec leurs caractéristiques : sous bassin, dénomination, commune, wilaya et leurs capacités (Figure.I.7).

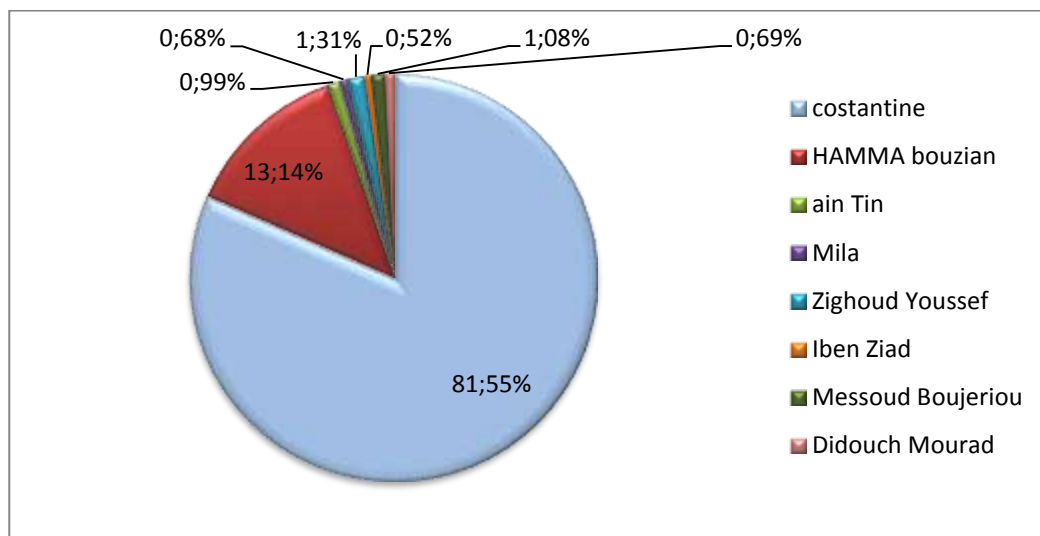


Figure.I.7. Répartition de l'AEP par commune (PAW, 2008)

Notons que plus des trois quarts de l'approvisionnement en eau alimentent la wilaya de Constantine vas à la commune de Constantine avec un pourcentage 81,55%, en raison de sa forte densité de population, suivie par la commune de Hamma Bouziane avec 13,14%.

#### I.4.1.2. Assainissement

Les agglomérations de plus de 1000 habitants, au nombre de 171, sont dotées d'un réseau d'assainissement totalisant plus de 2000 km. Parmi ces agglomérations, trois possèdent une station d'épuration :

- La première située à Constantine avec une station d'une capacité de 400.000 équivalent habitants, extensible à 800.000 équ.hab, fonctionne selon le principe de la boue activée, est dimensionnée pour un débit moyen de 800 l/s.

- Quant à la deuxième, située à Oued Athmania est dotée d'une capacité de 45.000 équivalent-habitants, extensible à 67.500 équ.hab, traite les eaux usées de Chelghoum laid, fonctionne selon le principe de la boue activée aussi, mais à faible charge. Elle est dimensionnée pour un débit de 130 l/s et traite actuellement 46 l/s.

- La troisième station, mise en service le 20 Aout 2009, est implantée sur le territoire de la commune de Sidi Merouane sur une superficie d'environ 16 hectares et d'une capacité de 20 657 m<sup>3</sup>. La station est conçue pour traiter les eaux usées venues de la ville de Mila, Grarem Gouga, Sidi Merouane, Sibari 1, Sibari 2 et Ras-El Kébir. Les effluents traités sont destinés à être rejetés dans la cuvette du barrage Béni-Haroun.

#### **I.4.2. Agriculture**

La région se caractérise par une agriculture mixte, traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion) dépendant du type de culture. Les céréales et les cultures maraichères sont les principales activités des périmètres irrigués. Afin d'améliorer le secteur de l'agriculture, les professionnels ont recouru aux nouvelles méthodes et techniques de culture en utilisant les engrais et les pesticides. Certes, le taux de production augmente mais leurs utilisations abusives conduit à des concentrations excessives de ces différents produits chimiques, dont surtout les nitrates et les phosphate qui conduisent finalement à une pollution des sols et des eaux (ABH, 2004).

### **I.4.3. Industrie**

Les potentialités industrielles de la région sont considérables et constituent un pôle national important doté de trois zones industrielles constituées notamment de 05 complexes en industrie mécanique et 05 unités de matériaux de construction et 06 unités agro-alimentaires et quelques unités de production relevant du secteur privé de faibles tailles.

Ces unités industrielles faiblement représentées dans le centre-ville, se concentrent dans les principales zones industrielles, telle la Zone Palma située dans la ville (DPAT, 2002).

Donc la région de Constantine est dotée d'un tissu industriel assez important touchant plusieurs secteurs d'activités tels que :

#### **I.4.3.1. Industrie Agro - alimentaire**

Les principales unités activant dans le secteur sont :

- Trois (03) unités SMIDE (ex ERIAD) dont 02 se trouvant à Hamma Bouziane et une (01) à El Khroub.
- Six (06) minoteries privées (KENZA, MEXICALI, BASRA, AGROMEGA, BOUSBAA).
- Six (06) unités de production de lait et produits laités (MALBANET NUMIDIA EX ORELAIT) SAFILAIT, REKIMA, SUILAIT, STELINA et MILK RHUMEL.
- Dix-sept (17) unités de boissons gazeuses.
- De petites unités artisanales de fabrication de pâtes alimentaires et confiserie.

#### **I.4.3.2. Matériaux de construction**

Dans ce secteur, la région de Constantine est dotée :

- d'une cimenterie sise à Hamma Bouziane
- unité de conditionnement (GEMAC)
- de quelques unités de granulats carrière géante (Agréats calcaire, gypse, variétés d'argile, sables, carbonate de calcium etc....).
- une (01) de chaux hydraulique et d'une unité de céramique.

Quant au secteur privé, il est concentré uniquement dans certains créneaux tels que :

- Exploitation des carrières, d'agrégats
- Fabrication de carrelage

- Fabrication de briques et tuiles
- Transformation de marbre

#### **I.4.3.3. Industrie chimique et pharmaceutique**

La région dispose d'une seule unité publique de produits pharmaceutiques SAIDAL implantée à la zone industrielle PALMA dont la vocation principale est la fabrication d'insuline ainsi que quelques médicaments. Quant au secteur privé celui-ci est constitué de quelques petites unités de produits pharmaceutiques telles que BIOGALENIC, ISOPHARM, AAHP, KPMA, UPC.

Une (01) unité privée spécialisée dans la fabrication de verre et de divers types de bouteilles, dénommée verrerie silice internationale (V-S-I) implantée à Didouche Mourad.

#### **I.4.3.4. Opportunités d'investissement**

La région de Constantine offre des opportunités d'investissement dans les domaines suivants :

- l'industrie Agro - alimentaire
- l'industrie manufacturière et textile.
- l'industrie matériaux de construction.
- l'industrie mécanique.
- l'industrie de transformation (DPAT, 2010).

### **Conclusion**

La région d'étude fait partie du grand bassin du Kébir-Rhumel, limité au nord par les deux bassins côtiers constantinois ouest et centre, au sud par le bassin versant des hauts plateaux constantinois, à l'est par le bassin versant de la Seybouse, Il a un chevelu hydrographique très dense totalisant plus de 4200 km.

Le climat de la région est généralement méditerranéen au nord à semi-aride au sud. Les températures sont marquées par des variations saisonnières et journalières.



# **Chapitre II**

## **Cadre géologique**

## II.1. Géologie régionale

### II.1.1. Introduction

La chaîne alpine d'Algérie Nord orientale s'articule sur le rif et constitue la chaîne tello-rifaine (W.Wildi, 1983) qui représente le segment occidental de la chaîne des maghrébides (M. Durand-Delga et J. Aubouin, 1971 ; Durand-Delga, 1980) (Figure II.1). Cette chaîne alpine s'étend sur plus de 2000 Km, on y distingue de nord vers le sud.

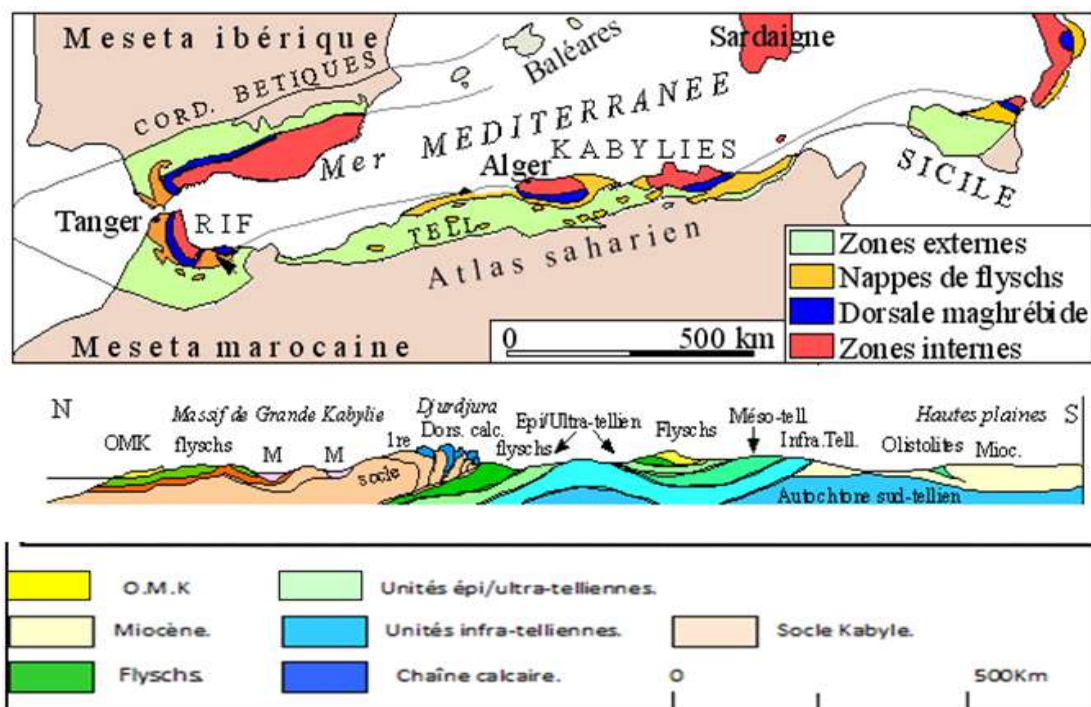
### II.1.2. Domaine interne

Il est représenté en Algérie par un chapelet de massifs, anciens littoraux bordés au sud par la dorsale kabyle (chaîne calcaire).

#### II.1.2.1. Socle kabyle

Le socle kabyle est caractérisé par quatre ensembles lithologiques, qui sont :

- Un ensemble crustal profond appartenant aux faciès granulites (J.P.Bouillin, 1976 ; P. Peucat et G. Bossier, 1978).
- Les gneiss à intercalations de quartzites et d'amphibolites.
- Des phyllades peu métamorphisées.
- Un ensemble essentiellement sédimentaire qui débute au cambrien et atteint le carbonifère (Baudelot et Gery, 1979).



**Figure.II.1.** Schéma structural de la méditerranée occidentale (Durand Delga, et Fontboté ; 1980).

### II.1.2.2. Dorsale kabyle

La dorsale kabyle doit son nom de chaîne calcaire à L. Glaugeaud (1983) du fait de la sédimentation carbonatée dominante. Cette dorsale est localisée à la bordure méridionale du domaine interne quelle transgresse.

Ultérieurement, M.Durand-Delga (1969) a proposé le terme de dorsale kabyle.

En petite Kabylie, et sur des considérations paléogéographiques et structurales, la chaîne calcaire a été subdivisée en trois unités (M.Durand-Delga, 1969 ; J.F. Raoult, 1974 ; J.M.Vila, 1980) :

- La dorsale interne
- La dorsale médiane
- La dorsale externe

Elle affleure au sud d'Annaba (Djebel Abiod) d'où on peut la suivre d'une manière continue jusqu'au nord de Constantine (Kef Sidi Driss).

### II.1.2.3. Domaine des flyschs

Le domaine des flyschs se caractérise par des formations de la plaine abyssale mise en place par des courants de turbidité (J.P.Bouillin, 1986). Ces formations furent par la suite subdivisées en trois groupes (M.Durand-Delga, 1969).

- Le flysch de « Guerrouche ».
- Le flysch schisto-quartziteux ou flysch « albo-aptien » de (Glaugeaud, 1932).
- Le flysch numidien.

J.F. Raoult (1969) propose de la dénomination flysch massylien pour les flyschs schistoquartziteux tandis que J.P. Gélard (1969) propose le terme mauritanien pour les flyschs de Guerrouche.

#### II.1.2.3.1. Flysch massylien

Le flysch massylien a été défini par J.F. Raoult (1969) au Kef Sidi Driss, dans le nord constantinois. Ce flysch comporte des argiles quartzitiques à la base d'âge crétacé inférieur et une alternance d'argiles et de microbrèches au sommet d'âge crétacé supérieur (J.F. Raoult, 1972).

#### II.1.2.3.2. Flysch mauritanien

Il est représenté par une série assez variée, à la base des radiolarites rouges du Malm (J.M.Vila, 1980) surmontée par un calcaire d'âge crétacé inférieur. Ce flysch se continue par une puissante série argilo-gréseuse à la base et surmonté par des calcaires d'âge crétacé supérieur et se termine par des formations conglomératiques et micro conglomératiques d'âge Yprésien.

### **II.1.2.3.3. Flysch numidien**

Le flysch numidien doit sa nomenclature à E. Ficheur (1980) pour désigner la trilogie suivante :

- Des argiles varicolores à Tubotomaculum dites sous numidiennes.
- Des bancs de grés épais à grains hétérogènes.
- Des argiles, marnes et silexites dites supra numidiennes.

Des datations ont été effectuées sur les formations numidiennes affleurant dans la région de Mahouna (J.C. Lahondère et al, 1979). Ces datations ont données un âge Oligocène moyen à supérieur, aux argiles sous numidiennes un âge aquitainien aux bancs gréseux et un âge Burdigalien aux argiles supra-numidiennes.

### **II.1.3. Domaine externe**

En Algérie orientale, le domaine externe est représenté par les séries telliennes, les séries de l'avant pays puis les séries de l'avant pays atlasique.

#### **II.1.3.1. Séries telliennes**

Elles englobent des formations épaisses marneuses d'âge jurassique à Eocène. Les séries rattachées à ce domaine sont subdivisées en trois grands unités (M.Durand-Delga ,1969 ; J.F. Raoult, 1969 ; J.M. Vila, 1968 ; Guellal et al).

#### **II.1.3.2. Unités ultra telliennes**

Les formations typiques comportent un crétacé inférieur marno-calcaires clairs à ammonites, un crétacé moyen à rotalipores, un sénonien marneux et micritique riche en microfaunes de Globotruncana et Hétérohélicidés et un Eocène à trois termes : marnes noires à boules jaunes Dano-paléocènes, Yprésien, lutétien inférieur à calcaire à silex et un lutétien supérieur marneux sombre.

#### **II.1.3.3. Unités telliennes sensu stricto**

Elles ont été définies par J.M.Vila (1980) et représentent l'équivalent de la série mésotellienne dans la nomenclature de M. Durant Delga (1969). Ces unités de caractérisent par un crétacé inférieur riche en dépôts terrigènes ou les intercalations des faciès néritiques restent modérés du crétacé supérieur à l'Oligocène.

#### **II.1.3.4. Unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites**

Les séries péni-tellines se caractérisent par des faciès néritiques prépondérants du crétacé supérieur à l'oligocène et montrent une grande affinité avec l'avant pays méridionaux.

Les unités méridionales à nummulites ne sont localisées que dans les confins méridionaux du môle néritique constantinois. Ces unités ne comportent que du Sénonien et des formations Eocènes riches en Nummulites. J.M.Vila (1980) pense que ces unités

représentent la couverture Eocène des séries péni-telliennes charriées sur le néritique constantinois et donne ainsi une extension considérable vers le sud aux nappes telliennes.

### **II.1.3.5. Série de l'avant pays allochtones**

Les séries de l'avant pays allochtone ont été regroupées selon J.M.Vila (1980) en trois grandes familles « une organisation sétifienne », « une organisation constantinoise », « une organisation Algéro -tunisienne ».

### **II.1.3.6. Organisation sétifienne**

Les séries sétifiennes présentent un caractère de plate-forme, seule leur frange méridionale décèle des variations significatives qui annoncent l'autochtone hodnéen plus méridionales à l'ouest (Djebel Tafour) et les séries des Sellaoua à l'Est (Djebel Hamouda ou Anouda).

### **II.1.3.7. Organisation constantinoise**

Elle regroupe les séries néritiques constantinoises au nord et les séries des Sellaoua au sud.

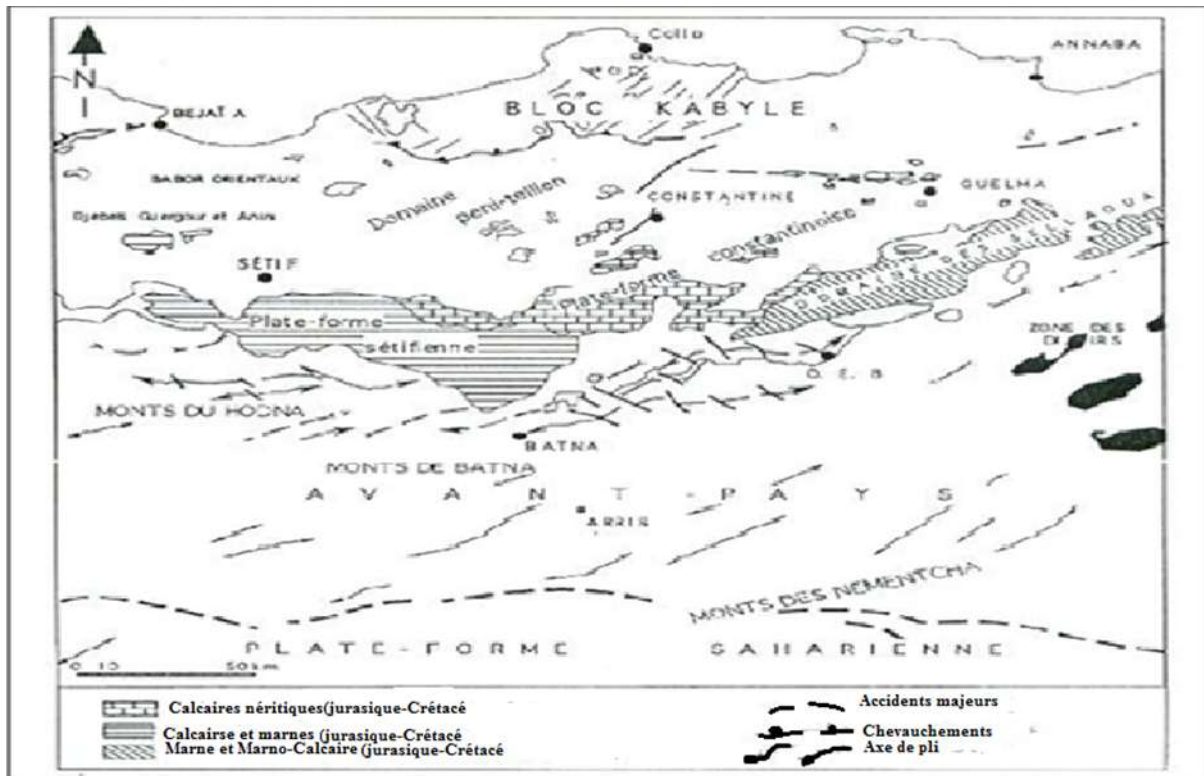
#### **a. Séries néritiques constantinoises (Figure II.2)**

Elles représentent l'essentiel des massifs calcaires qui constituent le môle néritique constantinois et sont caractérisés par d'épaisses formations carbonatées à caractères de plateforme subsidente. D'après J.M.Vila (1980) la série des massifs calcaires méridionaux ne dépasse pas le Cénomaniens et se termine par un contact anormal.

#### **b. Unités des Sellaoua**

Elles ont fait l'objet d'études entreprises par J. Blayc (1912) ; L. David (1956) et C. Voute (1967).

Les unités de Selloua se caractérisent par une sédimentation argilo-marneuse durant tout le crétacé. Le Djebel Djaffa offre une image de transition entre les séries néritiques constantinoises méridionales et les séries septentrionales des Sellaoua



**Figure II.2** Situation actuelle de la plateforme néritique constantinoise (Carte modifiée d'après D. Bureau, 1970 et J.M. Vila, 1980)

## II.2. Géologie locale

### II.2.1. Introduction

Les massifs du constantinois appartiennent aux domaines externes de la chaîne des maghrébides. Les grands traits stratigraphiques des séries néritiques constantinoises sont actuellement bien connus. Il s'agit essentiellement de formations calcaires Jurassico-crétacé et une couverture marno-calcaire d'âge Sénonien supérieur à Eocène avec la présence de lacunes de sédimentation.

### II.2.2. Mésozoïque

#### II.2.2.1. Trias

Dans la région de Constantine le Trias n'affleure jamais en position stratigraphique normale. Il est rencontré sous trois dispositions différentes :

- Soit, en forme de diapirs ;
- Soit, en forme de lames à la base des unités allochtones ;
- Soit, injecté le long d'accidents tectoniques.

Les affleurements du Trias sont circonscrits ou étendus sur plusieurs centaines de mètres. Il est constitué par des roches essentiellement évaporitiques.

Parmi les affleurements connus dans le Constantinois on peut citer du Nord au Sud.

- Les affleurements de Sidi Merouane.
- Les affleurements des massifs du Kheneg et Djebel Akhal, au Nord-ouest et à l'Ouest de Constantine.
- Les affleurements de la dépression du Chattaba, Djebel Ech-Chebka, Ain el Kebch a l'Ouest de Constantine.

Les affleurements liés aux formations tertiaires situées au Sud des massifs du Felten et de l'Oum-Settas.

#### **II.2.2.2. Jurassique**

Il affleure au Nord : Djebel Sidi Driss, Toumiettes, au Djebel Akhal, la série jurassique est puissante d'environ 700m, entièrement carbonatée (calcaires oolithiques-dolomies et calcaires à silex).

Elle inclut des lumps, microconglomérats, stratifications entrecroisées et des failles. Ces phénomènes indiqueraient une certaine instabilité lors de la sédimentation de ces dépôts (Benabbas, C. 2006). Au massif du Chettaba, les formations jurassiques sont dominées par des calcaires et des dolomies.

#### **II.2.3. Crétacé**

##### **II.2.3.1. Crétacé inférieur**

Il est représenté dans la région de Constantine essentiellement par des dépôts à dominante marno-calcaires.

##### **II.2.3.2. Néocomien**

Il affleure au Djebel Akhal avec une épaisseur totale d'environ 200m, et au massif du Chettaba, Il est représenté par une épaisse série de marnes, de calcaires et marno-calcaires du Valanginien. Cette série contient de nombreuses Ammonites et se caractérise par la présence de surfaces durcies ; la série se termine par des calcaires microlitiques et des niveaux de marnes noires de l'hauterivien (Benabbas, C. 2006).

##### **II.2.3.3. Barrémien**

Le Barrémien affleure sur toutes les feuilles de la région d'étude. Il est représenté par deux ensembles un inférieur carbonaté à faciès micro graveleux à polypiers et rudistes, et un ensemble supérieur qui se compose de calcaire et de dolomies massifs.

Au Djebel Akhal et au massif du Chettaba, il est représenté essentiellement par des calcaires.

#### **II.2.3.4. Aptien**

L'Aptien inférieur affleure au Dj Karkara, au Dj Zouaoui est constitué par un ensemble de marnes et de calcaires marneux bio micritiques à graveleux. Par contre l'Aptien supérieur au Dj Frikta est plus carbonaté avec des calcaires polypiers et Orbitolines des niveaux supérieurs se composent de dolomie alternant avec des lumachelles à Huîtres, la série se termine par un hard-ground très constant.

#### **II.2.3.5. L'albien**

Il affleure au Dj Frikta avec une épaisseur d'environ une centaine de mètres, et représenté par des marnes et marno-calcaires à la base, et par des conglomérats au sommet, au NW du Djebel Chattaba, mais la série albien au Djebel Zouaoui est plutôt marneuse avec une alternance de marno-calcaires et de calcaires marneux. Il est absent au Dj Oum Settas.

#### **II.2.3.6. Cénomanién**

Il est représenté par une épaisse série de calcaire, de marne et de marno calcaire.

Cette formation est remarquable au Djebel Salah au Nord de la ville de Constantine (montagne tabulaire de forme triangulaire limité par des failles).

Sur le rocher de Constantine, le Cénomanién comprend à la base des calcaires rubanés organo-détritique ravinés. Au massif du Chettaba, il est représenté par des calcaires à Orbitolines.

Dans la région du Khroub et d'El Aria, l'épaisseur du Cénomanién est très variable, elle peut atteindre les 250m et il est essentiellement calcareux.

### **II.2.4. Crétacé supérieur**

#### **II.2.4.1. Turonien**

Il existe dans le rocher de Constantine, et dans les massifs du Felten, au Dj Oum Settas le Turonien constitué une série d'environ 200m avec un ensemble inférieur formé de calcaires rubanés avec des niveaux de calcaires massifs à rudistes, et par des calcaires à silex au rocher de Constantine et au massif du Chettaba.

#### **II.2.4.2. Sénonien**

Il est visible dans le massif du Chettaba, Djebel Akhal et au massif de l'Oum Settas-Mazela et constitué essentiellement par les marno-calcaires. Au rocher de Constantine, il est représenté par des marnes et des calcaires biomicritiques.



## II.2.5. Cénozoïque

### II.2.5.1. Paléogène

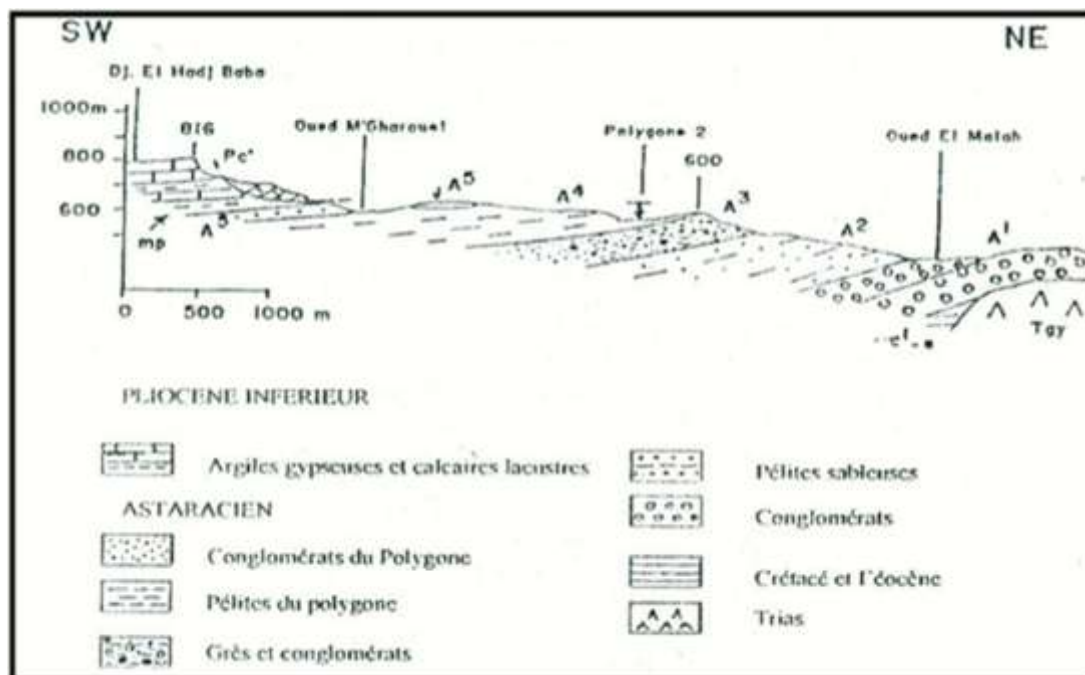
Le paléogène existe dans les monts de Constantine. Il est représenté par une épaisse série de marnes et de calcaires phosphatés et de calcaires à silex.

### II.2.5.2. Néogène

Il est représenté essentiellement par le miocène inférieur et situe au Sud de la chaîne numidique. Il est constitué de conglomérats et d'argile rouge.

-Le Miopliocène continental

Il s'agit d'une formation détritique qui débute par une série de conglomérats et d'argiles rouges de l'Aquitaniens continental. Les conglomérats sont surmontés par des argiles et des grès dans lesquels s'intercalent souvent des passes gypseuses d'épaisseurs variables. Il est représenté par des dépôts continentaux (coiffait, ph. e. 1992) (FigII.4). Le sommet se termine par des calcaires lacustres plus ou moins travertin eux. L'exemple le plus typique est celui de la plate-forme d'Ain-El-Bey.



FigureII.3. Coupe géologique du Miopliocène à l'Est immédiat de Constantine.

## II.2.6. Quaternaire

Dans notre région d'étude le quaternaire comprend surtout les alluvions anciennes et récentes des fonds de vallées.

Les alluvions récentes des Oueds correspondent à des limons et graviers et des galets roulés.

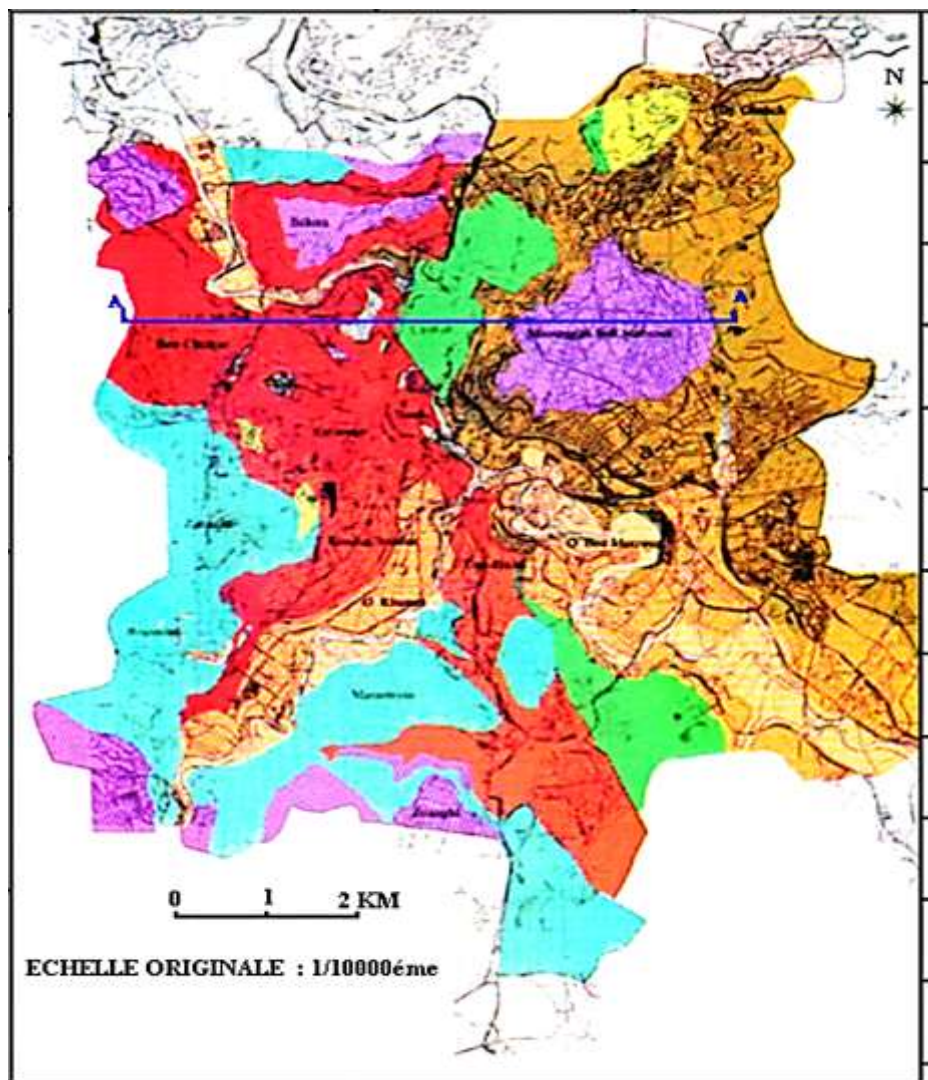
Les alluvions anciennes des Oueds se composent de cailloux rous et de limons. Elles sont parfois encroûtées et proviennent d'anciennes terrasses. Les alluvions anciennes.

Les éboulis sont surtout développés en bordure des reliefs numidiens et des massifs calcaire et gréseux : Djebels Sidi Driss, El Kantour, Toumiettes, Bougrina, Kef Anser, Taya et Ouahch.

Les plateaux sont composées aussi de cailloux rous, de limons et de graviers. Elles sont souvent cimentées par une croute calcaire.

Les formations de pentes correspondent à des glacis polygéniques qui forment des surfaces très faiblement inclinées, près des plaines recouvertes d'un matériel élastique, avec de vastes placages sur les versants marneux.

Les glacis de Constantine, dans la région d'El Aria, sont constitués exclusivement de blocs du Numidien bien roulés (Derouiche, A. 2008).





**Figure .II.5.** carte géologique de la région de Constantine. (Source : R. Bougdal et D.Belhai-2004)

## II.2.7. Conclusion

Chaîne alpine s'étend sur plus de 2000 Km, on y distingue de nord vers le sud : domaine interne, domaine des flyschs et domaine externe, Plusieurs géologues se sont intéressés à la chaîne alpine Nord orientale, M. Durand-Delga (1969) replace l'ensemble des domaines de la chaîne alpine au sein d'un ensemble logique : L'orogénèse alpine périméditerranéenne.

En Algérie orientale, M. Duand -Delga distingue :

- Les écaillés pré-kabyles du Nord-Constantinois ;
- La zone sous-kabyle, représentée principalement par les Babors ;
- L'autochtone infra-tellien des Bibans ;
- L'autochtone néritique du constantinois ;
- L'autochtone sud-tellien.

Concernant la géologie de Constantine, on conclut que : Les grands traits stratigraphiques des séries néritiques constantinoises sont actuellement bien connus. Il s'agit essentiellement de formations calcaires Jurassico-crétacé et une couverture marno-calcaire d'âge Sénonien supérieur à Eocène avec la présence de lacunes de sédimentation.

# **Chapitre III**

## **Cadre hydrogéologique**

### III.1. Introduction

D'après Mebarki, 1988, l'hétérogénéité géologique du bassin versant engendre des influences différentes sur le régime des cours d'eau conjointement à celles dues à la répartition des précipitations.

L'oued Kébir-Rhumel, long de 200 km, draine de la source à la mer, cinq grands domaines géologiques et hydrogéologiques très différents:

1. Le domaine des Hautes-Plaines Sud-Constantinoises
2. Le bassin néogène de Constantine-Mila
3. Le domaine des «nappes» tectoniques de Djemila
4. Le domaine de la dorsale kabyle et des massifs gréseux numidiens
5. Le domaine du socle granitique et cristallophyllien de la petite Kabylie d'El Milia

Dans notre travail, on s'intéresse seulement à deux domaines :

### III.2. Le domaine des Hautes-Plaines Sud-Constantinoises

Il est constitué de deux grandes unités lithologiques:

#### - Les massifs carbonatés du néritique constantinois:

Composés de 1 000 à 1 200 m de calcaires jurassiques et crétacés, ils émergent en horsts très karstifiés de 10 à 100 km<sup>2</sup> limités par des abrupts imposants.

Au pied de ces massifs, dans la zone d'éboullis, émergent de grosses sources karstiques : Ain Fesguia (90 L/s : AEP d'El Khroub et de Constantine) à la base du Guérioun, Ain Fourchi (pompages de 300 L/s aux fins de l'irrigation) au sud d'Ain M'lila et à l'est du Djebel Nif Enser, Ain Boumerzoug (400 Us : AEP de Constantine) au nord du massif du Fortas.

- **Les trop-pleins non captés alimentent les oueds** (haut-Rhumel et Boumerzoug) qui drainent Les différentes plaines quaternaires cloisonnées par les djebels calcaires.

Sur l'ensemble de ces plaines, les nappes phréatiques sont activement exploitées pour l'irrigation par gravité des cultures maraîchères.

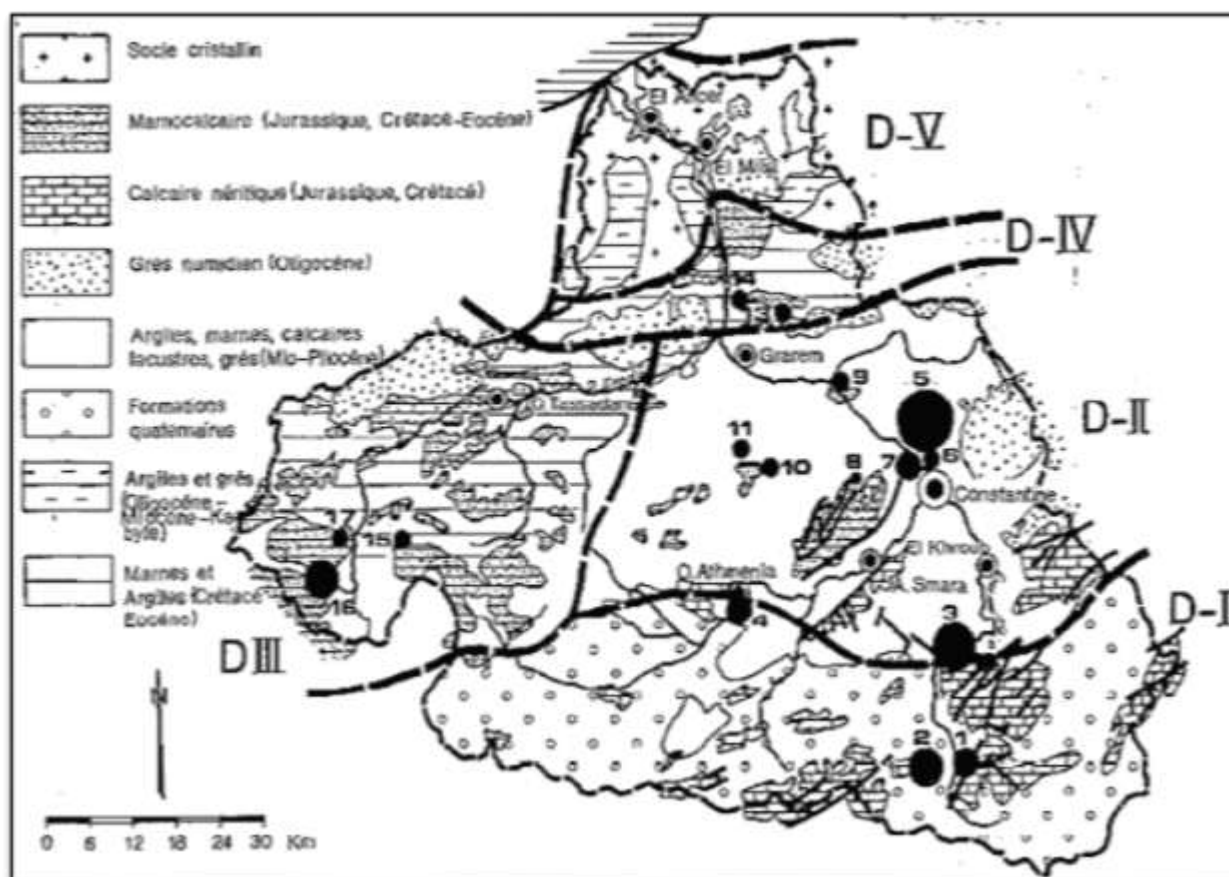
### III.3. Bassin néogène de Constantine-Mila

Ce bassin miopliocène, est à dominante argileuse, à l'exception de quelques affleurements de calcaires lacustres, renfermant des ressources exploitées localement. Par ailleurs, émergent de nombreux horsts de calcaires néritiques d'âge jurassique-crétacé donnant lieu à des aquifères karstiques hydrothermaux tel le système de Hamma Bouziane-Constantine.

La station de Guerarem, sur le bas-Rhumel, reçoit les écoulements issus de l'ensemble des domaines 1 et 2.

\*A noter également la source thermale de Hammam Grouz (110 l/s) qui émerge juste à l'aval de la station de jaugeage d'Oued Athménia. Cette dernière contrôle les débits du haut Rhumel, relayée plus bas, à l'aval de la confluence des oueds Rhumel-Seguïn, par la station hydrométrique d'Aïn Smara.

Les trop-pleins non captés alimentent l'oued Boumerzoug (contrôlé par la station de jaugeage d'El Khroub) et l'oued Rhumel qui drainent les différentes plaines quaternaires. Ces dernières renferment des nappes activement exploitées à des fins d'irrigation.



**Figure.III.1.** Les grands domaines hydrogéologiques du Kébir-Rhumel (Mebarki A. et Thomas C., 1988).

### III.4. Exutoires des massifs et leurs situations

#### III.4.1. Djebels Guerioun et Fortas

Ces deux massifs forment un bel ensemble à deux émergences classiquement connus et étudiées comme le centre de l'AEP de Constantine, ce sont la source de Fesguia et Boumerzoug. Ces deux dernières sont liées à la tectonique de faille affectant Dj Guerioun et Fortas.

#### **III.4.1.1. Source de Fesguia (X = 855,75 ; Y = 307,25 ; Z = 770m)**

Elle se situe au bas des éboulis qui bordent le Dj Guerioun (piémont) et est conditionnée par une faille rectiligne NO-SE à fort rejet (400 m) coupant en deux le massif calcarodolomitique du Guerioun.

Elle émerge au sein d'un ensemble de graviers relativement important. La moyenne des débits est de l'ordre de 60 à 80 l/s et peut même dépasser les 100 l/s avec une température qui avoisine les 19°C.

#### **III.4.1.2. Source du Boumerzoug (X = 855,25 ; Y = 32,50 ; Z = 737,50m)**

Cette source se trouve sur un plan de faille de NE-SO du Dj Fortas. La zone fissurée est assez étendue en largeur et profondeur et vraisemblablement liée à un contact calcaire crétacé, marnes pliocènes. Les moyennes des débits oscillent entre 400 et 600 l/s (pointe supérieure à 1 m<sup>3</sup>/s). Du point de vue importance, cette source vient après celle de Hamma Bouziane qui est le point le plus bas de tout l'ensemble, d'ailleurs, vu son importance pour l'AEP de Constantine nous parlerons sur elle en détail (Boutera, W. 2007).

#### **III.4.2. Djebels Oum Settas et Mazela**

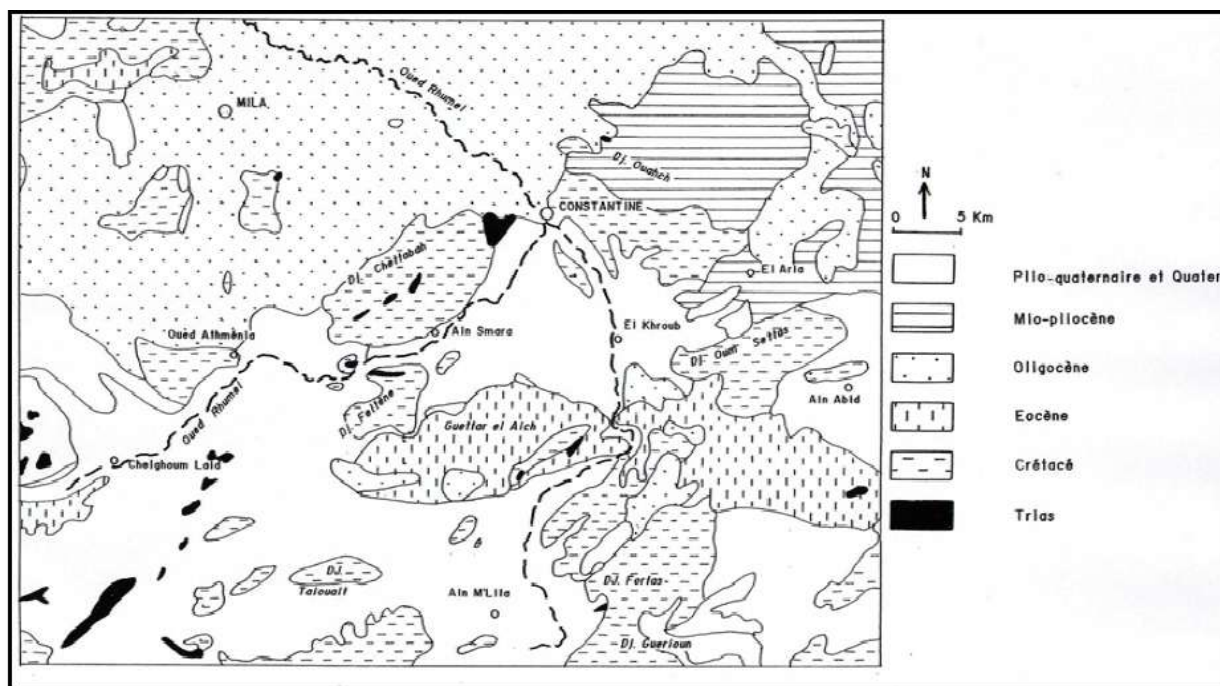
Ces massifs considérables et essentiellement carbonatés ne présentent aucun exutoire sur leur périphérie immédiate. Il est fort probable que leur impluvium participe à l'alimentation d'autres exutoires éloignés (les Sources de Hamma).

Le débit de certaines sources correspondrait bien à la surface d'affleurement des calcaires formant l'impluvium.

C'est le cas par exemple de la source de Fesguia qui est située à la base du Guerioun.

Par contre si nous prenons l'ensemble Nord (Oum Settas-Mazela) il ne présente aucun exutoire sur sa périphérie malgré la pluviométrie importante 450-600 mm et un impluvium suffisant pour donner au moins 200 l/s. Il est probable qu'il y a un transfert d'eau en profondeur avec des relais profonds entre les différents aquifères (Boularak 2003).

D'autre part en se référant des données géophysiques réalisée autour du secteur, on constate une interruption brusque des enregistrements. Cette lacune géoélectrique correspond à une faille E-W responsable de l'absence des exutoires.



**Figure.III.2.** Localisation des massifs dans leur contexte géologique de Constantine (Tirée de la carte géologique de Constantine, J.M VILA, 1977).

### III.5. Nappes au niveau des plaines

#### III.5.1. Nappe de la vallée de l'Oued Boumerzoug et El Khroub

La nappe d'eau circule dans le sous-sol de la vallée de l'oued Boumerzoug. Elle est exploitée actuellement pour les besoins en eau de la région d'El Khroub. L'écoulement s'effectue d'Est en Ouest vers la vallée de l'Oued Boumerzoug. L'aquifère est constitué par les dépôts alluviaux (Mio-Plio-Quaternaire) où les variations latérales de faciès sont très importantes d'un forage à l'autre.

Si certains sondages montrent deux niveaux aquifères séparés par un niveau marneux d'où la présence d'une nappe superficielle (Quaternaire) et nappe captive (Mio-Pliocènes), d'autre sondages montre la communication entre les deux niveaux donc on ne parle que d'une seule nappe mio-plio-quaternaire.

#### III.5.2. Plaine de Hamma Bouziane

La dépression de Hamma Bouziane est caractérisée par une topographie de plain et par la présence d'un substratum carbonaté très karstifié, auquel sont associées des manifestations thermales anciennes (le développement des calcaires travertineux) ou récentes (l'émergence des sources thermales).

##### III.5.2.1. Réseau karstique

Les massifs calcaires du domaine néritique constantinois présentent des indices apparents d'une karstification qui peut apporter de précieux renseignements quant à



l'évolution tectonique de cette région (au djebel Kellal, au Kef salah et au djbel bergli) cette karstification se manifeste par la présence de lapiez, de dolines et de fractures béantes.

Ce réseau karstique longe le plus souvent l'accident tectonique orienté N140°E et les accidents orientés N30°E. Ces failles subverticales correspondent à un jeu normal probable en 1992, P.E. Coiffait a attribué ces phénomènes à une karstification développée le long de failles normales, en période de distension par ailleurs Y. Arris (1994) a déterminé une phase distensive orientée N140°E d'âge plio-quadernaire. C'est à cette phase qu'il serait possible d'attribuer la l'évolution des phénomènes karstification observés dans les environs de Constantine.

Dans un épisode plus tardif. Les phénomènes karstiques ont été accompagnés par un thermalisme généralisé sur toute la région de Constantine ; mais c'est dans le bassin le Hama Bouziane où l'activité hydrothermale est la plus développées. Cette activité s'est manifestée par des émergences chaudes qui, au cours de quadernaire, ont généré trois types de travertins successifs, d'âge différent et que nous pouvons observer aisément sur terrain.

### **III.5.2.2. Le transfert souterrain des eaux**

Le bassin Hama bouziane constitue de point le plus bas de tout le système hydrogéologique de néritique constantinois. Il peut être considéré comme un exutoire particulier. Les sources thermales observées au hammam zouaoui, au pied du djebel bergli et la source d'Ain skhouna ont un débit cumulé qui peut atteindre les 800l/s. ce débit est nettement supérieure à celui de l'impluvium que l'on pourrait leur attribuer à ce bassin. Par ailleurs, certains massifs néritiques observées sur le périmètre de Constantine-Ain M'Lila ne possèdent pas d'exutoire c'est exemple des djebels : felten, ouled sellam,oum settas et mazela, bien que leur impluvium soit suffisamment important. Toutes ces observations ou anomalies hydrogéologiques ont conduit c.voute (1967) à proposer un modèle de transfert profond des eaux souterraines avec des écoulements qui sont sensiblement du sud vers le nord (Boulahdid, Z. et Laaziz, O (2005)).

## **III.6. Contexte hydrogéologique des aquifères de Constantine**

Les études géologiques et géophysiques ont permis une bonne reconnaissance des différentes formations susceptibles d'être le siège d'un écoulement souterrain.

L'alternance dans les séries stratigraphiques de niveaux imperméables (marnes, argiles) et de couches poreuses ou fracturées (grès, conglomérats, carbonates) permet de présumer à priori la présence d'un certain nombre d'aquifères souterrains. Ce sont notamment pour le terrain d'étude des formations jurassico-crétacées, des formations crétacé-paléogènes et enfin des formations de remplissage du Mio-Plio-Quadernaire des différentes plaines.

### **III.6.1. Aquifère Crétacé**

Le groupe de l'Oum Settas-Mazela est essentiellement carbonaté avec une série allant du Barrémien au Turonien. L'épaisseur de la série avoisine les 800 m, quand il existe, l'Albien fait exception car il est marneux, mais il est de faible épaisseur. De nombreuses failles suivant une direction principale NE-SO hachent les massifs de l'Oum Settas et Mazela. Malgré cela,

la karstification de l'ensemble paraît assez peu développée, de plus aucun exutoire n'est visible en périphérie.

C.Voute (1967) pensait que l'absence d'exutoires est due soit à une karstification peu développée, soit que les chenaux et galeries étaient colmatés par des dépôts de calcite ou d'argile, soit qu'il y ait des transferts en profondeur vers le Nord (source du Hama Bouziane) ou vers l'Est (Hammam Debbagh).

Une autre hypothèse pourrait être envisagée, celle de Boularak (2003), c'est que les eaux après avoir gagné la profondeur circuleraient sous la couverture Néogène alimentant ainsi ces formations.

**NB :** Dans notre étude, la majorité des forages destinés à l'AEP, à l'irrigation et à l'industrie captent l'aquifère du céno-manien.

### **III.6.2. Aquifère Mio-Plio-Quaternaire**

Ce type d'aquifère est rencontré au Sud et au Nord du terrain d'étude. Nous prenons l'exemple de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire d'El Khroub. La lithologie étant un ensemble détritique constitué surtout de conglomérat et grès du Miocène, de calcaire lacustre du Pliocène et enfin des conglomérats et sable du Quaternaire le long de la vallée de Boumerzoug surtout aux environs immédiats d'El Khroub et le long de la vallée d'Oued El Berda (Bouteraa, W. 2007).

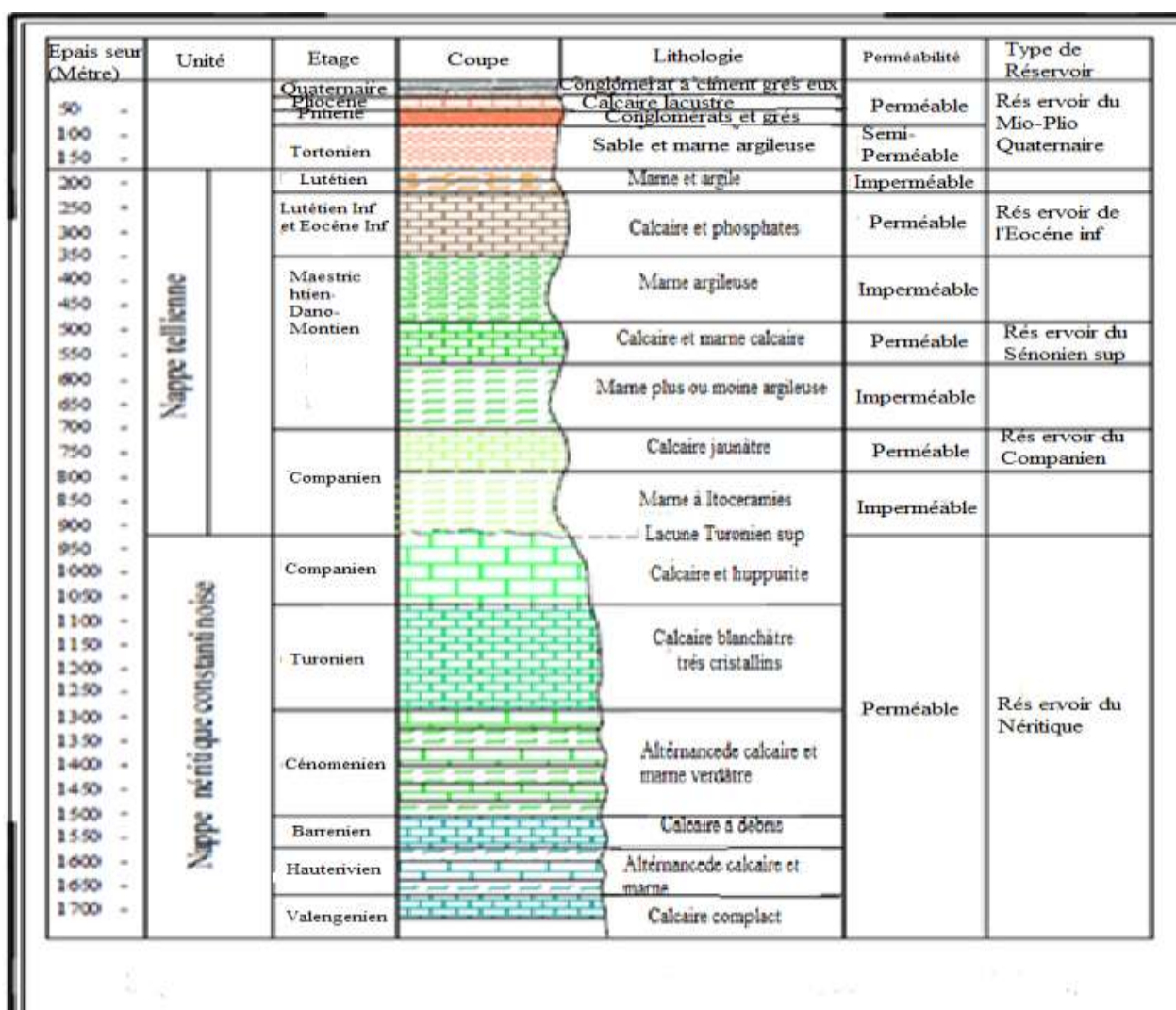


Figure.III.3. Log hydrogéologique de la région d'étude (Boularak, 2003).

### III.7. Conclusion

Sur l'échelle régionale, on a déterminé 03 unités hydrogéologiques :

- Vallée du Rhumel : départ du côté d'El Eulma et embouchure au barrage Beni Haroun, de superficie de 86.5 Km<sup>2</sup> dont une partie dans la wilaya de Constantine.
  - La nappe de ville franchien: conglomérats + calcaires.
  - La nappe du La nappe du Miopliocène: calcaire lacustre.
  - La nappe des calcaires de l'Eocène.
  - La nappe du Crétacé inférieur.
- Plaine d'El Khroub:
  - La nappe des alluvions quaternaires.
  - La nappe du Miopliocène: calcaire lacustre.
  - La nappe de l'aptien : calcaire à grains fin à intercalation de marnes.
- Karst-hydro-thermal.
  - La nappe de la vallée fossile Miopliocène.
  - La nappe libre et captive : alluvions Quaternaires.
  - La nappe des calcaires et dolomies du Crétacé inférieur et moyen.

# **Chapitre IV**

## **Cadre hydroclimatologique**

## IV.1. Introduction

Le volet hydro climatologique est un exposé des différentes caractéristiques pluviométriques et thermiques dont l'objectif essentiel reste la détermination de plusieurs paramètres : évapotranspirations, déficit d'écoulement, ruissellement et l'infiltration, cette dernière prend part dans l'alimentation des aquifères et le renouvellement des réserves souterraines.

## IV.2. Précipitations

Les précipitations constituent un phénomène physique qui décrit le transfert d'eau dans sa Phase liquide (pluie) ou solide (neige, grêle...) entre l'atmosphère et le sol. Les précipitations représentent l'élément le plus important du cycle hydrologique .En hydrologie, les précipitations sont considérées comme étant la totalité de la lame d'eau recueillie par la pluviométrie, Il est connu que le climat de la région de Constantine appartient à l'étage semi-aride, ce qui lui confère un climat de type méditerranéen, caractérisé par une pluviométrie relativement différenciée ;

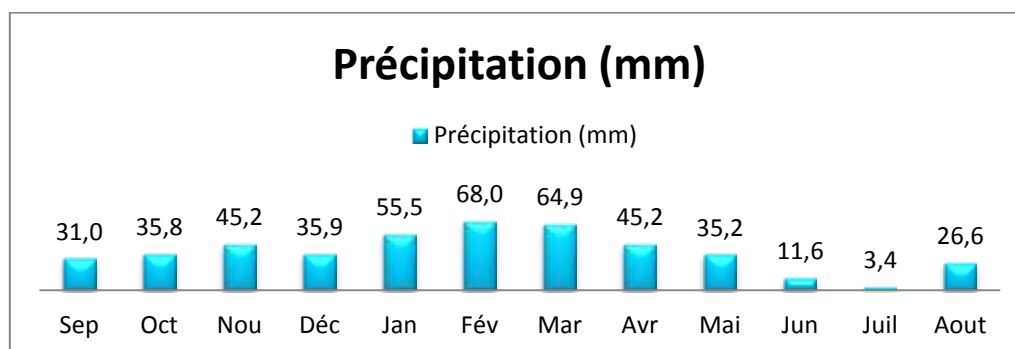
- de 600 à 700 mm dans la partie nord de la wilaya
- de 400 à 450 mm dans la partie sud de la wilaya

**Tableau IV.1** coordonnées de la station d'Ain El Bey.

Wilaya	Localité	Echangeur	Coordonnées GPS de station
Constantine	Ain El Bey	Ain El Bey	36°9'15''N, 5°40'9''E

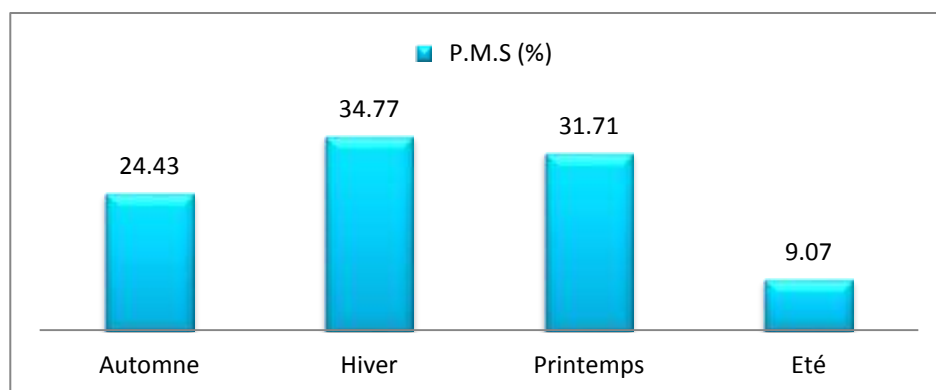
### IV.2.1. Précipitations moyennes mensuelles

Notre étude est basée sur les données disponibles fournies par la station pluviométrique et thermométrique d'Ain El Bey.



**Figure.IV.1.** précipitation moyenne mensuelle station d'Ain El Bey (2008-2017).

D'après l'histogramme le maximum de pluie est observé au mois de Février avec 68,02 mm, et le minimum de pluie observé au mois de juillet avec 3,4 mm.



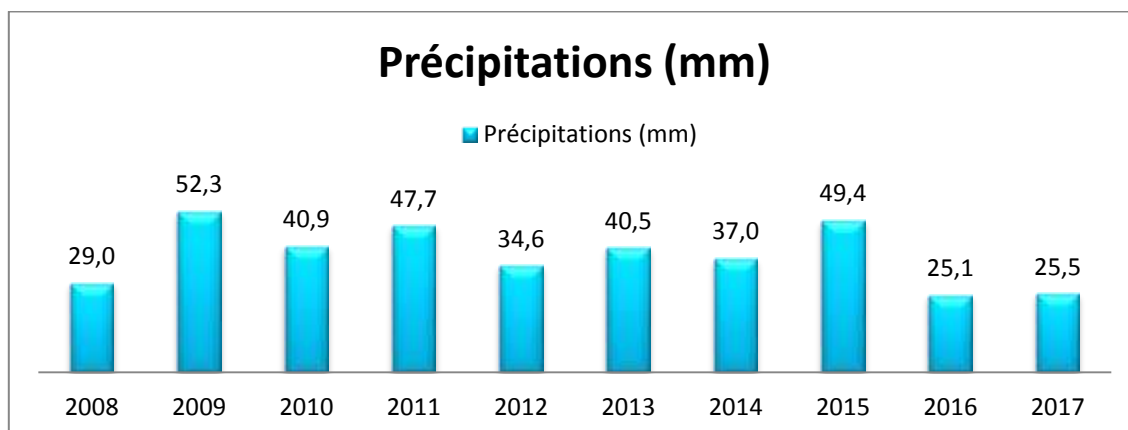
**Figure.IV.2.** Répartition saisonnière de la pluie station de Ain El Bey (2008-20017).

On remarque à partir de l'histogramme des précipitations moyennes saisonnière de la période 2008-2017 que la saison d'hiver est la plus pluvieuse avec un précipitation atteignant 34,77 mm, par contre la saison d'Eté est la moins pluvieuse avec des précipitations de l'ordre 9,07 mm.

#### IV.2.2. Précipitations moyennes annuelles

L'étude des précipitations moyennes annuelles a été effectuée à partir des données des périodes allant du 2008 jusqu'au 2017 enregistrées à la station de Ain El Bey.

Le choix de cette série assez long de 10 ans, vise à définir le régime pluviométrique en question et d'identifiée la nature de la manifestation des années sèches de celle des humides

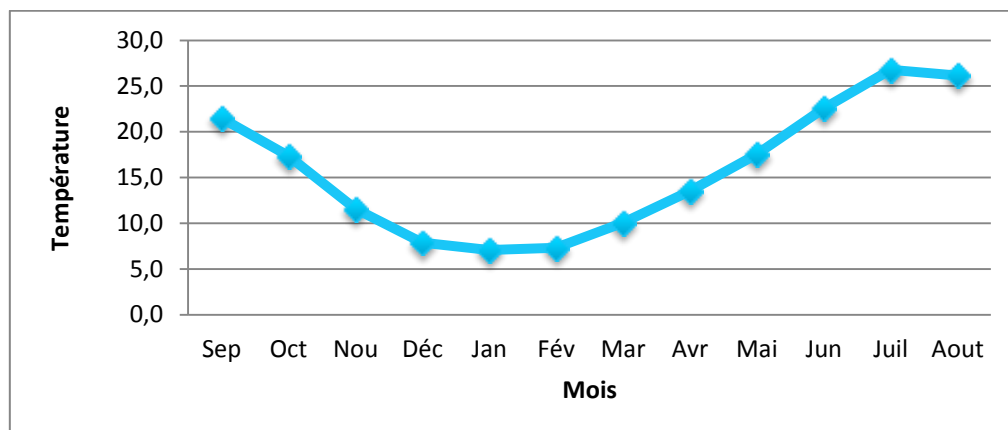


**Figure.IV.3.** précipitation moyenne annuelles station d'Ain El Bey (2008-2017).

On remarque à partir de l'histogramme des précipitations moyennes annuelles de la période 2008-2017 : que l'année 2009 est la plus pluvieuse, avec des précipitations qui atteignent 52,3 mm, par contre l'année 2016 est la moins pluvieuse avec des précipitations de l'ordre de 25,12 mm.

### IV.3. Température

La température constitue avec les précipitations l'élément majeur qui régit le climat d'une région. Elle joue le rôle d'un facteur qui influe sur le bilan hydrographique du fait de son impact sur déficit d'écoulement et l'évapotranspiration.



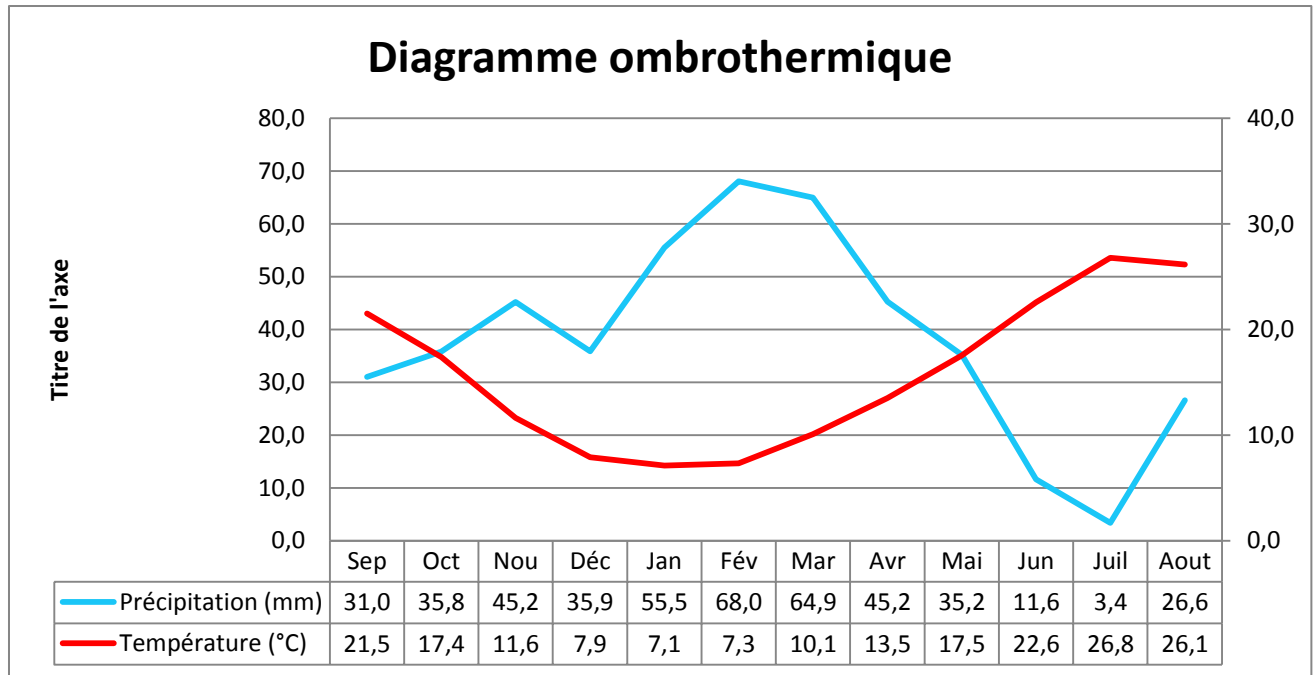
**Figure.IV.4.** Histogramme représentation de la température moyenne mensuelle durant la Période (2008-2017) (Station d'Ain El Bey).

Les données des températures mensuelles de la station de Ain El Bey permet de conclure que les températures sont relativement faibles en hiver (Décembre, Janvier et Février) et relativement élevées en été (Juin, Juillet et Aout) et que le mois le plus frais est Janvier avec une moyenne de 7,09 °C et le mois le plus chaud est le mois de juillet, avec une moyenne de 26,78°C.

### IV.4. Relation températures-précipitations

Le diagramme ombrothermique résulte de la combinaison des deux paramètres climatiques principaux, en l'occurrence les précipitations et les températures. Cette relation permet d'établir un graphique ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer les mois les plus secs correspondants selon la définition de **Gausson** et **Bagnoles** au mois où les précipitations moyennes sont inférieures ou égales au double de la température moyenne ( $P \leq 2T$ ).



**Figure.IV.5 .** Diagramme Ombrothermique (Station Ain El Bey 2008-2017).

Selon le diagramme ombrothermique (courbe pluvio-thermique) ci-dessus établis selon la méthode de **Gausson** ( $P=2T$ ), on remarque que :

-La courbe de précipitation se situe au-dessus de la courbe thermique du mi-octobre jusqu'à la fin de Mai. La période allant du début de Juin jusqu'à la fin du mois de Septembre, la courbe thermique se trouve au-dessus de celle de la pluviométrie.

-La période excédentaire (humide), débute au début du mois de Octobre et s'étale jusqu'à la fin du mois de Mai et la période déficitaire (sèche), s'étale au début du mois de Juin jusqu'à la fin du Septembre.

#### IV.5. Le bilan hydrologique

L'établissement du bilan hydrologique selon **Thorntwaite** est primordial pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Il est exprimé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

$P$  : Précipitations moyennes annuelles en mm ;

$ETR$  : Evapotranspiration réelle en mm ;

$R$  : Ruissellement en mm ;

$I$  : Infiltration moyenne en mm ;



$W_a$  : Variation des réserves (terme souvent négligeable) ;

### -Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par transpiration de la végétation.

### -Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie d'un tapis végétal couvrant entièrement et alimenté régulièrement en eau.

La formule générale utilisée pour le calcul d'ETP selon **Thornthwaite** est la formule suivante :

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

$$ETPC = 16 (10 T/I)^a \cdot k \dots \dots \dots (2)$$

Où :  $T$  : température moyenne mensuelle exprimé en °C.

$K$  : facteur de correction mensuelle.

$I$  : indice thermique annuel égale à :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{avec: } i = (T/5)^{1.514} \quad i : \text{indice thermique mensuel.}$$

$a$  : exposant climatique défini ainsi :  $a = 0.016(I) + 0.5$

$$ETPC = ETP \cdot K$$

Avec :  $ETPC$ : évaporation potentielle mensuelle corrigée.

D'après les données de la station de **Ain El Bey**:  $I = 73,45$  et  $a = 1,67$ .

**Tableau IV.2.** Calcul de l'ETP selon Thornthwaite.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
Précipitations (mm)	31,02	35,79	45,17	35,85	55,51	68,02	64,94	45,53	35,18	11,63	3,39	26,55	458,58
Températures (°C)	21,51	17,36	11,6	7,89	7,09	7,31	10,06	13,51	17,54	22,56	26,78	26,13	15,77
I	9,1	6,58	3,57	1,99	1,69	1,77	2,88	4,5	6,68	9,78	12,69	12,22	73,45
ETP (mm)	96,25	67,29	42,19	18,03	15,08	15,87	27,05	44,26	68,46	104,22	138,78	133,2	770,68
K	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	-
ETP <sup>C</sup> (mm)	101,06	61,23	31,64	12,62	11	12,37	27,59	50,89	90,36	138,61	184,57	165,16	887,14

**-Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)**

Pour estimer l'évapotranspiration réelle, nous utilisons encore une fois la méthode de Thornthwaite.

Lorsque les précipitations moyennes mensuelles (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle ; l'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle  $ETR=ETP$ . Et lorsque le volume des précipitations mensuelles est inférieur à l'ETP, l'ETR le sera aussi égal tant que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance, au-delà il aura un déficit.

Dans ces calculs, Thornthwaite admet l'utilisation d'une réserve en eau utile (RU) de 100mm. Si malgré l'apport de réserve facilement utilisable est toujours inférieur à l'ETP, à ce moment il existe un déficit agricole (DA).

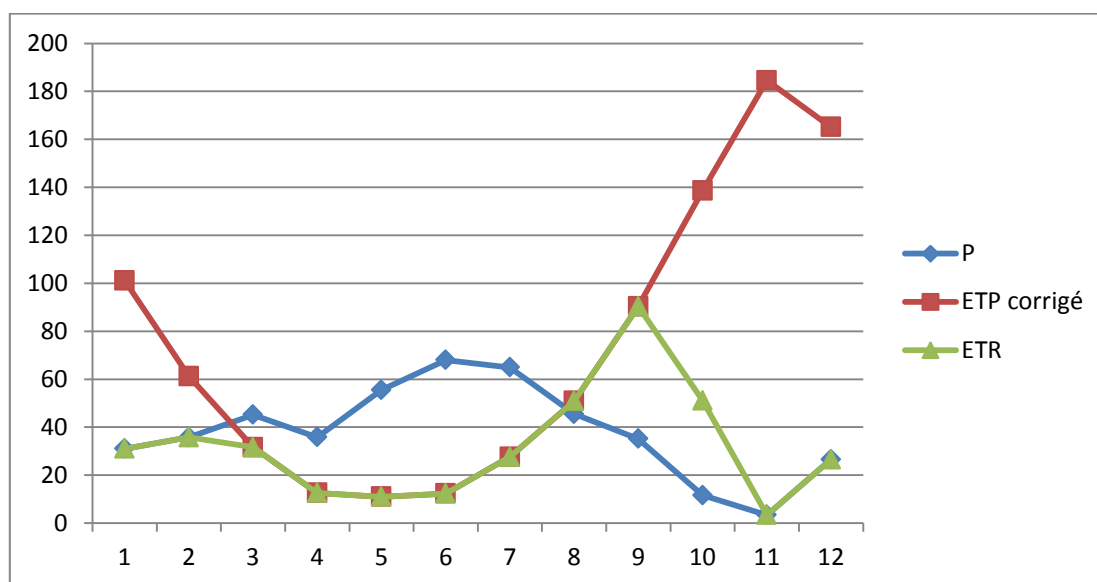
$$DA = ETP - ETR \dots \dots \dots (3)$$

Si la réserve facilement utilisable est remplie, le reste va contribuer ce qu'on appelle **Water-surplus (Ws)**.

**TableauIV.3.** Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle durant la période 2008-2017 (Station Ain El Bey).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
P	31,02	35,79	45,17	35,85	55,51	68,02	64,94	45,53	35,18	11,63	3,39	26,55	458,28
ETP corrigé	101,06	61,23	31,64	12,62	11	12,37	27,59	50,89	90,36	138,61	184,57	165,16	887,14
RFU	0	0	13,53	36,76	81,27	100	100	94,64	39,46	0	0	0	-
ETR	31,02	35,79	31,64	12,62	11	12,37	27,59	50,89	90,36	51,09	3,39	26,55	384,31
DA	70,04	25,44	0	0	0	0	0	0	0	87,52	181,18	138,61	502,79
Ws	0	0	0	0	0	36,92	37,35	0	0	0	0	0	74,27

L'évapotranspiration réelle calculée est de l'ordre de **384,31**, d'où **83,85%** des précipitations. .



**Figure.IV.6.** Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

Période 2008-2017- Station Ain El Bey

### IV.5.1. Interprétation du bilan hydrique

Le graphique de la fig. permet de faire les observations suivantes:

Les hauteurs des précipitations atteignent leur maximum en Décembre, là où l'ETP corrigée atteint son minimum.

L'ETP corrigée atteint son maximum en mois de Juillet, là où les précipitations atteignent leur minimum. L'allure de la courbe qui représente l'ETP donne une meilleure symétrie que celle des précipitations, ceci est expliqué par l'homogénéité de l'ETP durant l'année, qui est due au fait qu'elle évolue en fonction de la température suivant une loi normale par contre les précipitations sont hasardeuses et irrégulières d'un mois à un autre, ou d'une année à l'autre.

-le déficit agricole s'étend sur la période sèche de l'année.

-les écoulements deviennent importants à partir de la mi-septembre et s'étalent jusqu'au mois de Mai.

### IV.5.2. Exploitation du bilan hydrologique

Pour le calcul des ruissellements, et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle :  $ETP=770,68\text{mm}$ .

Précipitations moyennes annuelles :  $P= 458,28 \text{ mm}$ .

Lame évapotranspirée :  $ETR= 384,31\text{mm}$ .

#### -Ruissellements (R)

La formule de Tixeront-Berkaloff que nous donnons ci-après permet d'évaluer le ruissellement :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \dots\dots\dots(4)$$

$$R = \frac{(458,28)^3}{3(770,68)^2} \Rightarrow R = 54,01\text{mm}$$

L'application numérique de la formule donne un ruissellement égal à **54,01 mm** , 11,78 %.

#### -Infiltration (I)

$$P = ETR + (R + I) \pm \Delta W$$

Avec :

$\Delta w$  : lames des variations des réserves de la nappe (mm) (négligeable).

L'application numérique de la formule donne :

$$458,28 = 384,31 + (54,01 + I).$$

$$I = 458,28 - 438,31 \Leftrightarrow I = 19,97 \text{ mm}.$$

$\Rightarrow I = 4,35 \%$  des précipitations.

#### IV.6. Conclusion

- la zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride.
- les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de **458,28** mm et les températures moyennes annuelles sont de l'ordre **15,77** de °C.
- l'évapotranspiration réelle moyenne évaluée par la méthode de Thornthwaite est **83,85%** des précipitations ( $P=458,28\text{mm}$ ).
- le déficit agricole enregistré sur une longue période allant du mois de Mai jusqu' au mois d'Octobre **100,55** , **21,94%** des précipitation.
- le ruissellement égal **54,01 mm**, soit environ **11,78%** des précipitations.
- l'infiltration représente **4,35 %** des précipitations.

## **Chapitre V**

# **Etat de la ressource et le système hydraulique en eau du sous bassin du Rhumel- Smendou**

## V.1. Introduction

La demande d'eau accrue due à la croissance démographique et à la croissance économique, besoins environnementaux, le changement d'utilisation des terres, l'urbanisation, la surexploitation des nappes aquifères, la détérioration de la qualité de l'eau, la pollution provenant de sources locales et diffuses et les impacts sur la santé publique et les écosystèmes sont autant de facteurs qui continueront à créer de graves problèmes de pénurie d'eau.

En matière de gestion des ressources en eau, l'approche traditionnelle, sectorielle et fragmentée, a souvent poussé les instances gouvernantes à représenter des intérêts antagoniques. Trop souvent, des objectifs d'action ont été définis sans prendre en compte les implications pour les autres usagers de l'eau et sans consultation au-delà des limites sectorielles et institutionnelles (Global Water Partnership, 2000).

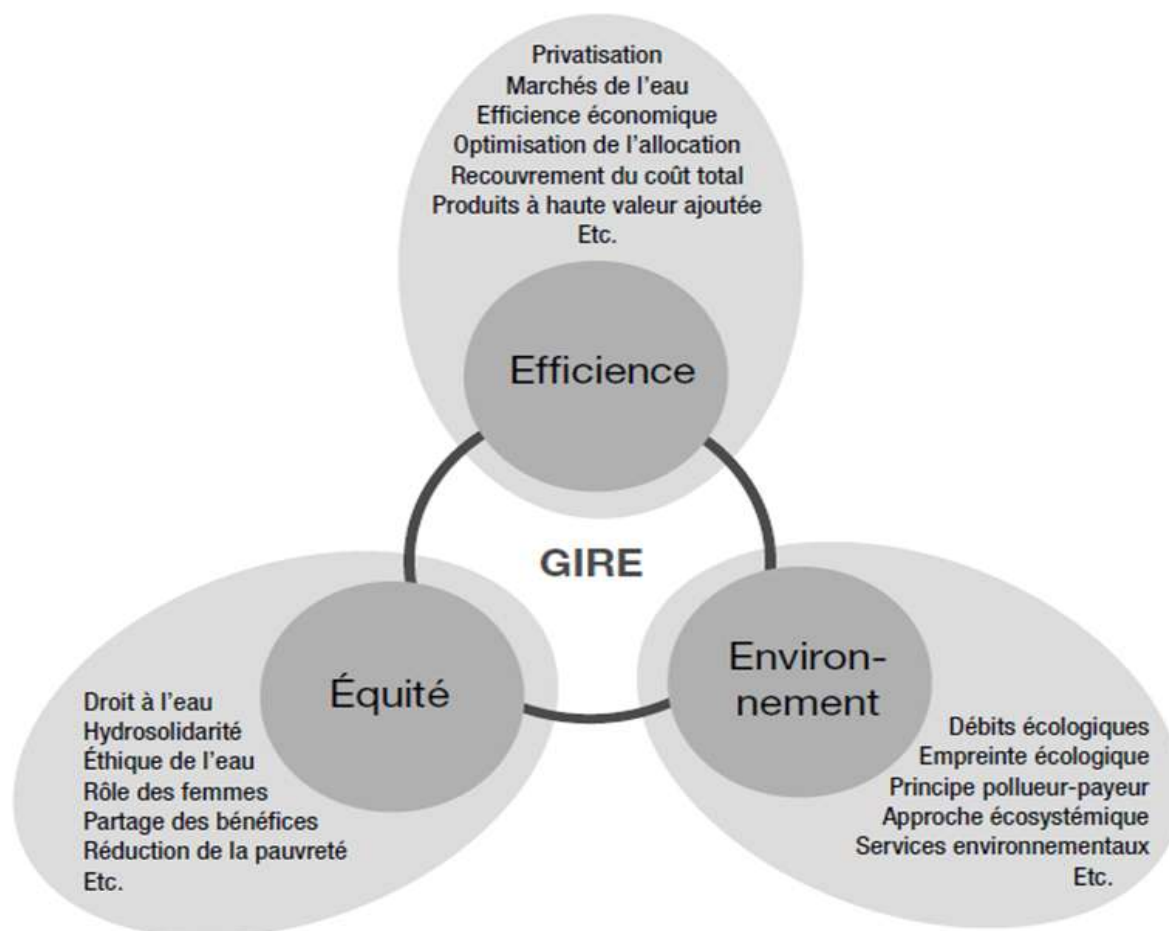
La gestion durable des ressources en eau dans la wilaya de Constantine, comme étude de cas, est un défi complexe, qui exige une nouvelle approche, si la gestion doit être fondée sur des résultats scientifiques solides, afin d'optimiser et de conserver les ressources disponibles en eau.

## V.2. Gestion de l'eau

La mise en valeur et la gestion des ressources en eau ont – de toute évidence – depuis toujours constitué une préoccupation importante des sociétés humaines qui dépendent de cette ressource vitale pour leur santé, leur alimentation, leur vie spirituelle et leur environnement. Ces sociétés ont mis au point des techniques diverses ainsi que différents modes de gouvernance régulant l'accès, le partage et l'usage de l'eau. Depuis la fin du XIXe siècle jusque dans les années 1980-1990, cependant, les approches donnant la priorité à l'ingénierie et aux grandes infrastructures hydrauliques ont constitué la principale réponse apportée par les États aux problèmes d'eau. Cet état de fait est bien symbolisé par la période dite de la «mission hydraulique», une héritière des premiers grands aménagements.

hydrauliques coloniaux qui s'est développée aux États-Unis dans les années 1930 pour connaître son apogée après la Deuxième Guerre mondiale, et ce, dans la plus grande partie du monde (Molle, 2009; Molle et al., 2009). Les répercussions sociales et environnementales induites à la fois par l'artificialisation profonde des paysages et la dégradation de la qualité de l'eau ont progressivement suscité des mouvements de contestation de la société civile dans les pays du Nord, conscientisé la population et engendré un changement dans les pratiques. Ces tendances furent bien saisies par le rapport publié en 1987 par la Commission mondiale pour l'environnement et le développement .

### V.3. la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)



Les trois «piliers» de la GIRE représentent des valeurs sociétales et collectives distinctes. Il ne s'agit pas, évidemment, des seuls objectifs et valeurs qui peuvent être avancés ou recherchés par des individus ou des groupes particuliers. Il se peut également, et ce n'est certainement pas un phénomène rare, que des intérêts privés ou de groupe soient favorisés et «maximisés», au détriment des valeurs collectives.

La mauvaise conception d'un barrage avec des dépassements de coûts et des répercussions sociales et environnementales importantes peuvent servir les intérêts d'entreprises de construction, de certains politiciens et des bureaucraties de l'État, tout en étant une catastrophe en termes d'efficacité économique, d'équité et d'environnement. On a donc, en pratique, toujours une tension entre intérêts privés et collectifs.

Le Global Water Partnership (GWP) définit la GIRE comme un processus qui favorise le développement coordonné et la gestion des ressources en eau, de la terre et des ressources connexes, afin de maximiser le bien-être économique et social de façon équitable sans compromettre la durabilité d'écosystèmes vitaux (TAC-GWP, 2000).

La GIRE est une méthode systématique pour une exploitation pérenne, une répartition et un suivi de l'utilisation de la ressource eau en fonction du contexte objectifs sociaux, économique et environnementaux.



Au plus simple, la gestion intégrée des ressources en eau est un concept logique et séduisant. Sa base est que les nombreuses différentes utilisations des ressources en eau sont interdépendantes. Ceci est évident pour nous tous (GWP, 2005).

### V.3.1. Principes de la gestion intégrée des ressources en eau

La conférence de Dublin de 1992, a donné naissance à quatre principes qui ont servi de base, à une grande partie de la réforme suivante du secteur de l'eau.

**Principe 1.** L'eau douce est une ressource finie et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement.

La notion que les eaux douces sont une ressource finie survient alors que le cycle hydrologique produit en moyenne une quantité d'eau fixe par intervalle de temps.

Cette quantité globale ne peut pas encore être altérée sensiblement par les actions humaines, bien qu'elle puisse l'être, et soit fréquemment, épuisée par la pollution humaine. La ressource en eau douce est un capital qui doit être maintenu pour s'assurer que les services désirés qu'elle fournisse, soient durables. Ce principe reconnaît que l'eau est nécessaire à des fins, des fonctions et des services variés ; la gestion, doit donc être holistique (intégrée) et implique une prise en compte des demandes de cette ressource et les menaces qui pèsent sur elle (GWP., 2005).

**Principe 2.** La mise en valeur et gestion de l'eau devrait se baser sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux.

L'eau est un sujet dans lequel chacun est partie prenante. La vraie participation n'a lieu seulement que quand les parties prenantes font partie du processus de prise de décision. Le type de participation dépendra de l'échelle spatiale concernant les décisions particulières de gestion et d'investissement de l'eau. Elle sera surtout affectée par la nature de l'environnement politique dans lequel ces décisions ont lieu.

L'approche participative est le meilleur moyen pour réaliser un consensus et un accord durable et commun. La participation concerne la prise de responsabilité, l'identification de l'effet des actions sectorielles sur les autres utilisateurs de l'eau et les écosystèmes aquatiques et l'acceptation de la nécessité du changement pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et permettre le développement durable de la ressource (GWP., 2005).

**Principe 3.** Les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la sauvegarde de l'eau.

Le rôle central des femmes comme fournisseurs et utilisatrices de l'eau et comme gardiennes du cadre de vie a été rarement reflété dans les dispositions institutionnelles pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau. On reconnaît largement que les femmes jouent un rôle majeur dans la collecte et la sauvegarde de l'eau pour les utilisations domestiques et – dans de nombreux cas – l'utilisation agricole, mais qu'elles ont un rôle

beaucoup moins influent que les hommes dans la gestion, l'analyse de problème et les processus de prise de décisions relatifs aux ressources en eau.

La GIRE exige une conscience Genre. En développant la participation entière et efficace des femmes à tous les niveaux de la prise de décision, il faudra prendre en compte la manière dont les différentes sociétés affectent des rôles sociaux, économiques et culturels particuliers aux hommes et aux femmes (GWP, 2005).

**Principe 4.** L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue aussi bien comme bien économique que bien social.

Dans ce principe, il est essentiel de reconnaître d'abord le droit fondamental de tous les êtres humains à avoir accès à l'eau potable et à l'assainissement à un prix accessible. La gestion de l'eau en tant que bien économique est une manière importante de réaliser les objectifs sociaux tels que l'utilisation efficace et équitable, et encourager la conservation et la protection des ressources en eau (GWP., 2005).

### **V.3.2. Avantages de la GIRE**

#### **V.3.2.1. Avantages environnementaux**

Les écosystèmes peuvent profiter de l'application de l'approche intégrée de la gestion de l'eau en donnant une voix aux besoins environnementaux dans le débat sur l'allocation de l'eau. A présent ces besoins ne sont pas toujours représentés à la table de négociation.

-La GIRE peut aider le secteur en sensibilisant les autres utilisateurs sur les besoins des écosystèmes et les avantages que ceux-ci génèrent pour eux. Souvent ceux-ci sont sous-estimés et ne sont pas incorporés dans la planification et la prise de décision.

-L'approche écosystème offre un nouveau cadre à la GIRE pour concentrer plus d'attention sur une approche système à la gestion de l'eau - protection des hauts bassins (par exemple, le reboisement, l'élevage, la lutte contre l'érosion du sol), la lutte contre la pollution (par exemple, la réduction des sources et les motivations en cas d'absence de sources de pollution, la protection de la nappe phréatique) et les flux environnementaux.

Elle offre une solution de rechange à la perspective de compétition intersectorielle qui peut associer les parties prenantes dans l'élaboration d'une nouvelle vision partagée et d'une action commune. (GWP., 2005).

#### **V.3.2.2 . Avantages agricoles**

-En tant qu'utilisateur unique de l'eau et principal pollueur de la source principale des ressources en eau souterraine et de surface, l'agriculture a une piètre image. Ajoutée à la mauvaise performance en termes de production agricole, cela signifie que fréquemment, en particulier dans des conditions de pénurie d'eau, l'eau est détournée de l'agriculture vers d'autres utilisations.

Cependant, une réduction indiscriminée dans l'allocation de l'eau pour l'agriculture pourrait avoir des conséquences économiques et sociales inimaginables. Avec la GIRE, on encourage les planificateurs à aller au-delà de l'économie du secteur et de prendre en compte les implications des décisions de gestion de l'eau sur l'emploi, l'environnement et l'équité sociale.

-En rassemblant toutes les parties prenantes et tous les secteurs dans le processus de prise de décision, la GIRE peut refléter la "valeur" combinée de l'eau à la société dans son ensemble au moment des décisions difficiles sur les allocations de l'eau. Ceci peut signifier que la contribution à la production alimentaire à la santé, à la réduction de la pauvreté et à l'équité Genre, par exemple, pourrait dépasser les comparaisons économiques strictes de taux de rendement sur chaque mètre cube d'eau. Egalement, la GIRE peut mettre en équation le potentiel de réutilisation des eaux usées d'irrigation pour les autres secteurs et la portée de la réutilisation agricole des eaux usées municipales et industrielles.

-La GIRE invite à une planification intégrée afin d'utiliser la terre, l'eau et autres ressources de manière durable. Pour le secteur agricole, la GIRE cherche à accroître la productivité de l'eau (c'est à dire plus de grains par goutte d'eau) dans les contraintes imposées par le contexte économique et social d'une région ou d'un pays donné (GWP, 2005).

### **V.3.2.3. Avantages de l'approvisionnement en eau et l'assainissement**

- Surtout, une GIRE convenablement appliquée aboutirait à la garantie de la sécurité de l'eau pour des pauvres du monde et les personnes non desservies. La mise en œuvre de la GIRE basée sur des politiques devrait signifier une sécurité accrue des approvisionnements en eau domestiques, de même qu'une réduction des coûts de traitement pendant que la pollution est abordée plus efficacement.

- La reconnaissance des droits des populations et en particulier des femmes et des pauvres, à un partage équitable des ressources en eau tant pour les utilisations domestiques que pour les utilisations à des fins de production au niveau du ménage, aboutit inévitablement à la nécessité d'assurer une représentation correcte de ces groupes dans les instances qui s'occupent de l'allocation des ressources en eau.

- La focalisation sur la gestion intégrée et l'utilisation efficace devrait être un stimulant pour le secteur en vue de pousser à une réutilisation, un recyclage et une réduction des déchets. Des fortes taxes de pollution renforcées par une mise en vigueur rigide ont donné des améliorations considérables dans les efficacités d'utilisation industrielle de l'eau dans les pays développés avec les avantages des approvisionnements en eau domestiques et l'environnement.

-Les systèmes d'assainissement passés se sont souvent concentrés sur l'élimination du problème des déchets des zones d'occupation humaine gardant ainsi les territoires humains propres et sains, mais en déplaçant simplement le problème des déchets, avec souvent des effets environnementaux catastrophiques ailleurs. L'introduction de la GIRE améliorera l'opportunité de l'introduction de solutions d'assainissement durables qui visent à minimiser

les sources de production de déchets, et la réduction des effets directs des déchets et à résoudre aussi les problèmes d'assainissement le plus près possible de l'endroit où cela se passe.

-Pratiquement à un niveau local, l'intégration améliorée de la gestion des ressources en eau pourrait aboutir à des coûts considérablement réduits de prestation de services domestiques d'eau, si par exemple plus d'ouvrages d'irrigation étaient conçus avec une composante de l'eau domestique explicitement impliquée dès le début (GWP., 2005).

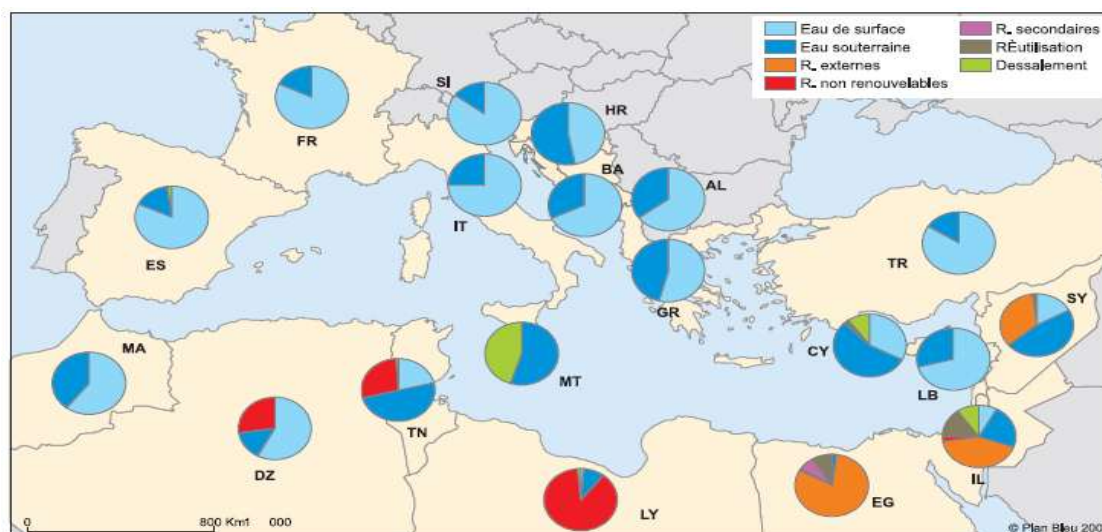
## V.4. Problème de l'eau

### V.4.1. Méditerranée

#### V.4.1.1 Demande en eau croissante

D'après les projections récentes du Plan Bleu (scénario tendanciel), la demande en eau pourrait encore s'accroître de 50 km<sup>3</sup> d'ici 2025 pour atteindre 330 km<sup>3</sup>/an ; l'essentiel de cette croissance serait le fait des pays du Sud et Est. L'agriculture devrait rester le principal utilisateur, en volume, de la ressource en eau pour satisfaire les besoins d'irrigation notamment au Sud et à l'Est du bassin. Les surfaces irriguées pourraient ainsi augmenter de 38 % au Sud et de 58 % à l'Est pour atteindre respectivement 9 millions ha et 8 millions ha d'ici 2030 (FAO).

Les besoins en eau douce, notamment en eau potable, vont en augmentant. Les pays arides se trouvent déjà dans une situation de rareté, avec risque d'aggravation vers la pénurie. L'augmentation des besoins est liée à la croissance démographique, mais aussi au développement économique (industrie), et très largement dominée par le domaine agricole (irrigation, développement). La consommation domestique est d'ailleurs relativement minime (14% à l'échelle de l'ensemble des pays méditerranéens en 2005) par rapport à la consommation globale d'eau (Figure.V.1) (Plan Bleu, 2008).

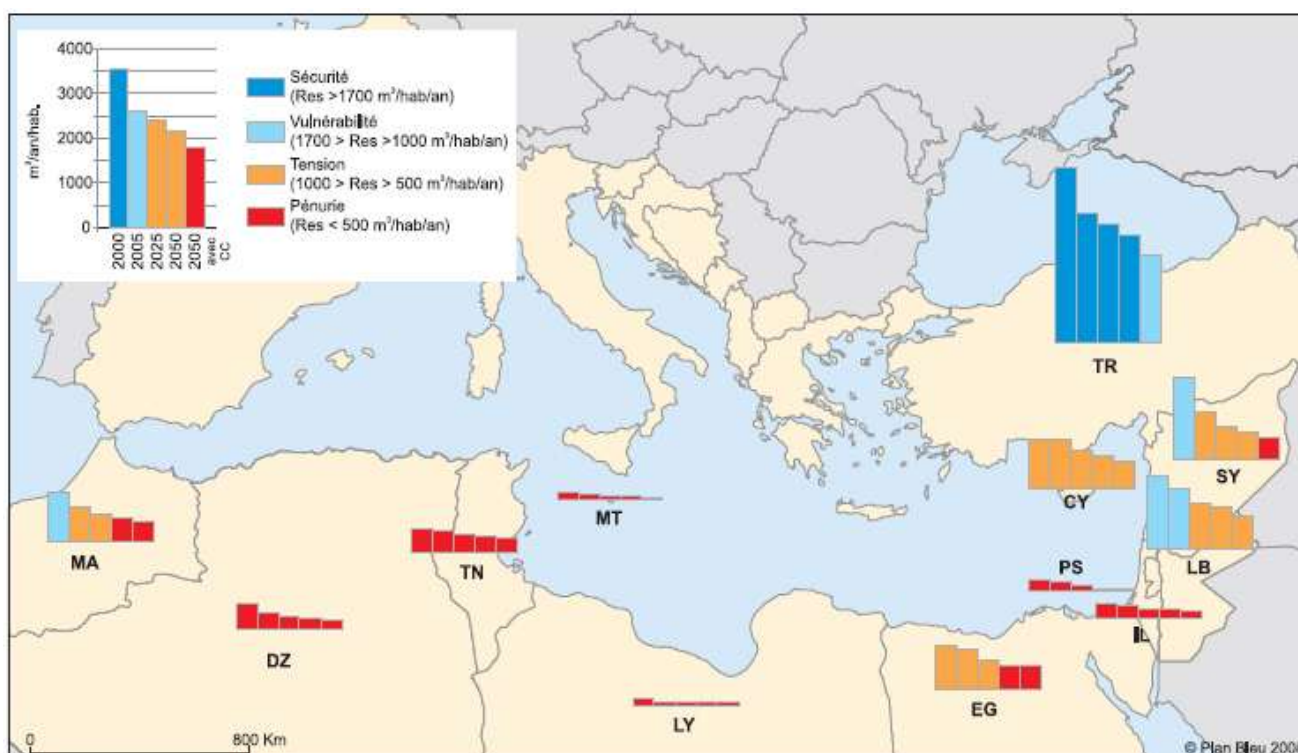


Source : Plan Bleu, J. Margat

**Figure.V.1.** Sources d'approvisionnement en eau actuelles des pays méditerranéens

### V.4.1.2. . Impacts du changement Climatique

Les évolutions de températures et de précipitations décrites par les modèles climatiques entraîneront une aggravation de ces tendances. Les régions méditerranéennes, qui souffrent déjà d'un stress hydrique important, aggravé par une succession d'années de sécheresse, vont se trouver particulièrement exposées à des réductions de leurs ressources en eau. Dans certains pays, ce type d'évolution pourrait déboucher sur des situations de crise aiguë. Au Sud et à l'Est de la Méditerranée, compte tenu de la croissance démographique et des conséquences immédiates des modifications du cycle de l'eau, on estime qu'à l'horizon 2050, environ 290 millions de personnes pourraient se retrouver en situation de pénurie d'eau.



**Figure.V.2.** Evolution des ressources en eau par habitant dans les pays de Sud et de l'Est de la Méditerranée entre 2000 et 2050

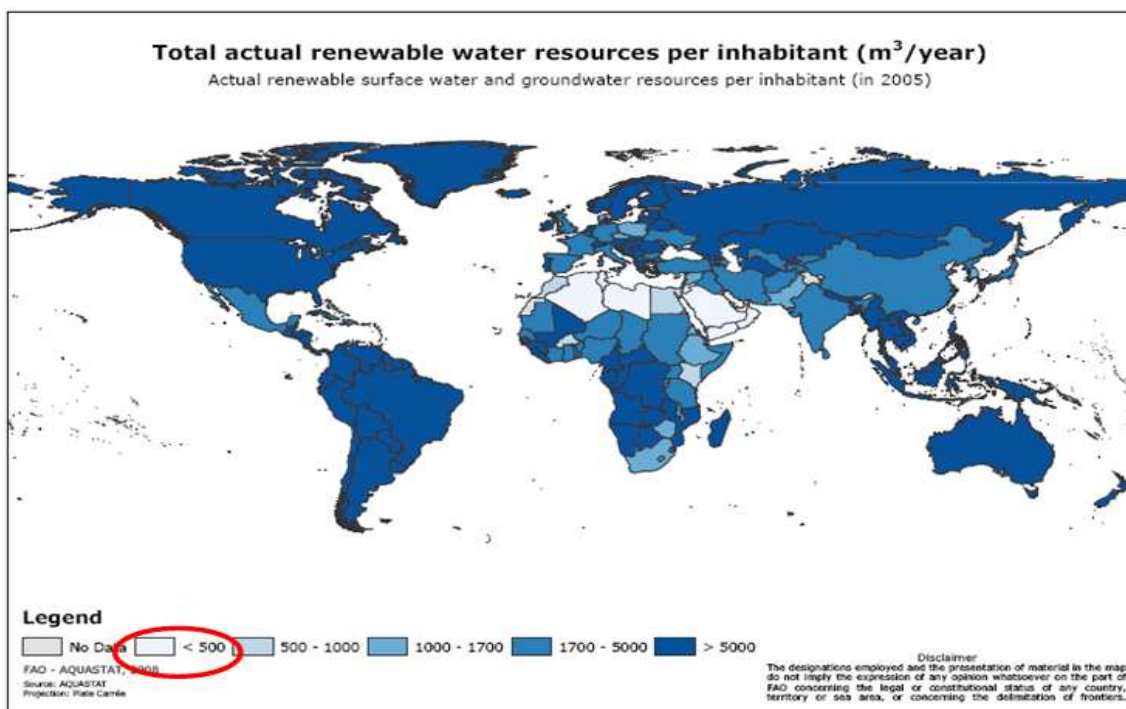
Les pays du pourtour méditerranéen doivent faire face à des pressions croissantes sur leurs ressources en eau. D'ores et déjà, dans certains d'entre eux (Egypte, Libye, Malte, Syrie, Gaza...), les prélèvements en eau approchent voire dépassent le niveau limite des ressources renouvelables.

Les pénuries d'eau, conjoncturelles ou structurelles, sont appelées à s'aggraver. La baisse des précipitations, déjà constatée, réduit les ressources en eau mobilisables et les tensions sur ces ressources vont être exacerbées par les effets du changement climatique(Figure.V.2. ) (plan bleu).

### V.4.2. En Algérie

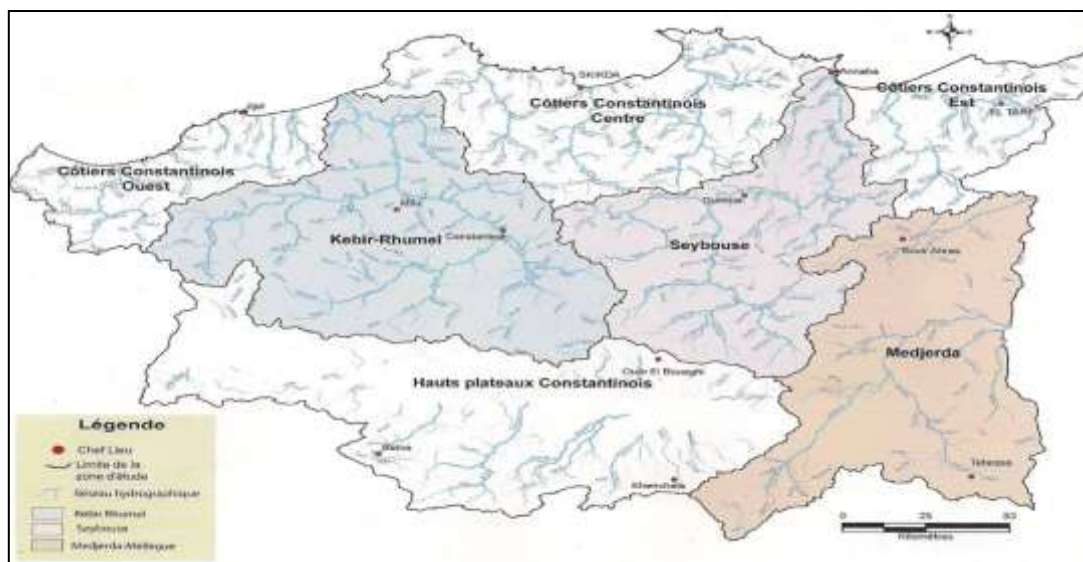
L'Algérie est un pays du sud du bassin méditerranéen à climat semi-aride (total pluviométrique annuel de 300 à 400 mm) (ONM, 2010). Il se place parmi les pays pauvres en matière de potentialités hydriques avec une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. Cette faiblesse globale des précipitations se double d'une disparité spatiale interne. Alors que les régions de l'Ouest algérien souffrent d'aridité, la partie Est du pays est caractérisée par un climat plus humide du fait du contexte montagneux : il s'y écoule des oueds dont les apports sont supérieurs à 1 000.106 m<sup>3</sup>/ an (Remini, 2010).

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques,



**Figure.V.3.** ressources en eau actuelle renouvelable par habitant en 2005 (FAO, 2008)

### V.4.3. Problème de l'eau dans le bassin versant du Rhumel



**Figure.V.4.** Carte des bassins versant de l'Est algérien (ABH-CSM)

Constitué de sept sous-bassins, répartis sur une superficie totale de 8815 km<sup>2</sup>, avec une façade de 7 km sur la méditerranée. Englobant une population de 2.500.000 habitants, selon l'estimation de 2002, répartis en 06 wilayas, 90 communes et 100 agglomérations de plus de 2000 habitants. 32,3 % de l'effectif total aggloméré dans le bassin se trouve Constantine, troisième ville du pays, avec un volume de consommation en eau annuelle (Kerdoun, 1998) de l'ordre de 29,2 millions de m<sup>3</sup>, et des besoins estimés à 58 millions de m<sup>3</sup>, donc un déficit de l'ordre de 50 %.

Le volume important des rejets (159840 m<sup>3</sup>/j) au niveau du bas Rhumel conduit à poser, d'ores et déjà, le problème de la protection des eaux du plus grand barrage d'Algérie, de béni-Haroun à l'aval immédiat. L'inventaire des industries, établi par l'Agence de Bassin Hydrographique (ABH), permet de décompter 40 unités industrielles dans le Kébir-Rhumel, de taille et de nature diverses. La vulnérabilité à la pollution de ces écoulements est traduite par les taux de concentration élevés des oueds dus aux rejets, confirmés par les résultats d'analyses chimiques.

La demande d'eau accrue due à la croissance démographique et à la croissance économique, besoins environnementaux, le changement d'utilisation des terres, l'urbanisation, la surexploitation des nappes aquifères, la détérioration de la qualité de l'eau, la pollution provenant de sources locales et diffuses et les impacts sur la santé publique et les écosystèmes sont autant de facteurs qui continueront à créer de graves problèmes de pénurie d'eau.

La gestion durable des ressources en eau dans le bassin versant du Kébir-Rhumel, comme étude de cas, est un défi complexe, qui exige une nouvelle approche, si la gestion doit être fondée sur des résultats scientifiques solides, afin d'optimiser et de conserver les ressources disponibles en eau (Kerdoun. A ,1998).

## V.5. Ressources en eau hydraulique

### V.5.1. Ressources superficielles

#### V.5.1.1. Les Oueds

- Oued Rhumel : C'est l'oued le plus important du bassin, long de plus de 123 km

-Oued Endja : Il prend naissance à la confluence de l'oued Kébir et de l'oued Redjas.

Il s'étend sur une longueur de 15 Km.

-Oued El Kébir : La confluence des oueds, Rhumel et Endja donne l'oued El Kébir, il fait 56 km de long et se déverse dans la mer méditerranée.

-Oued Boumerzoug : Il est considéré comme le principal affluent de l'oued Rhumel, utilisées pour l'irrigation. Il alimente la ville de Constantine en eau potable.

**V.5.1.2. Barrages** Le bassin du Kébir-Rhumel compte trois barrages : Beni Haroun, Hammam Grouz et Berla (ABH, 2004).

**Tableau.V.1.** Les barrages du bassin Kébir-Rhumel (ABH, 2004) Sous bassins Dénomination Commune Wilaya Capacité (hm<sup>3</sup>)

Sous bassins	Dénomination	Commune	Wilaya	Capacité (hm <sup>3</sup> )
10-03	Hammam Grouz	Oued Athmania	43	45
10-05	Berla	Ain Smara	25	3.2
10-07	Beni-Haroun	Grarem Gouga	43	795

**V.5.3. les retenues collinaires** avec une capacité de 5.450.000 m<sup>3</sup>, irrigant une superficie de 762 ha (66 exploitants) (Baghdadi, 1994) ; dont 9 seulement ont été exploitées en 2008 ;

#### V.5.2. Ressources sous terrain

-**48 sources** (actuellement 35) irrigant 945 ha dont les trois principales sont : Ain Touta, Ain-Bensbaa, Hamma Zouaoui, constituant l'aire d'irrigation de Hamma Bouziane (Baghdadi, 1994) ;

Mais la superficie effectivement irriguée est variable selon les années. En 1994, la wilaya n'est arrivée à irriguer, et dans des conditions difficiles que 2350 ha soit 1,8 % de la S.A.U (Baghdadi, 1994). D'où un déficit énorme à combler de 24.900.000 m<sup>3</sup>

Besoins 6500 ha. 6000 m<sup>3</sup> = 39.000.000 m<sup>3</sup>

Disponibles 2350 ha. 6000 m<sup>3</sup> = 14100000 m<sup>3</sup>

En 2008, la surface agricole irriguée est de 2173 ha, soit de 1.7% de la SAU.



La direction du secteur prévoit de passer à 5450 ha à l'horizon 2014 (Hannachi, 2009).

Jugée faible en ressources hydriques destinées à l'agriculture, la circonscription devrait patienter jusqu'à la réalisation des raccordements de tous les réseaux d'assainissement à la station d'épuration de Hamma Bouziane.

## **V.6. La distribution de l'eau**

### **V.6.1. La distribution de l'eau par commune**

#### **-Commune de Constantine**

Le chef-lieu de la wilaya contient 52 ouvrages de stockage avec une capacité totale de 84300 m<sup>3</sup>, dont 47 réservoirs avec une capacité de 80500 m<sup>3</sup> et 5 châteaux d'eau avec une capacité de 3800 m<sup>3</sup> et 10150 puits. Aussi, Il y a la présence de 12 stations de pompes gérées par la SEACO.

Actuellement le chef-lieu de la wilaya est alimenté comme suit :

barrage hammam Grouz (seuil) (348 l/s), barrage Béni Haroun (208 l/s), Nappe de Hamma Bouziane 1 et 2: (602 l/s), Champs captant de Boumerzoug (238l/s), retenue collinaire de Berla: (0.4l/s) et Salah bey: forage (8 l/s).

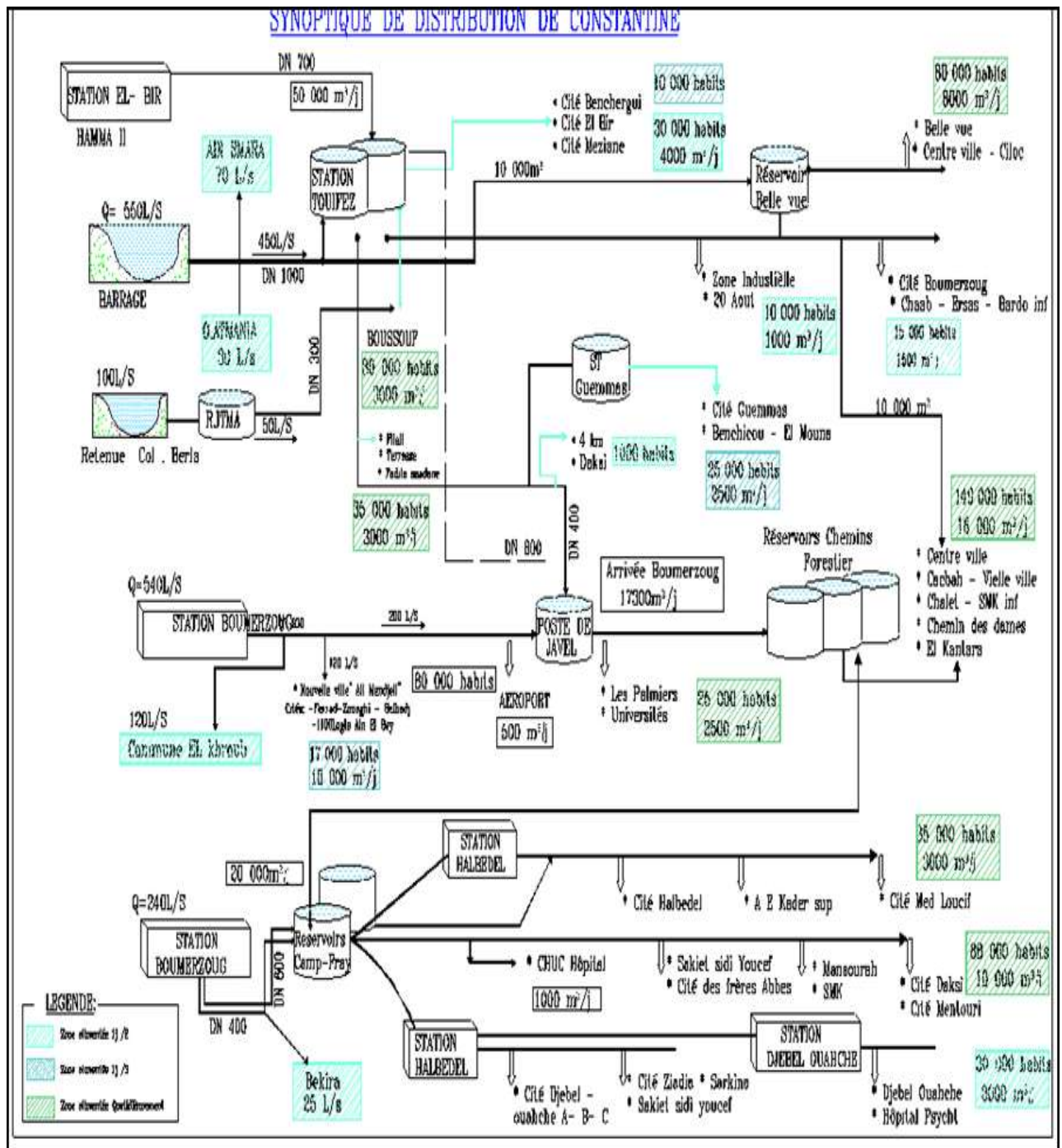


Figure.V.5. Schéma synoptique de distribution de la ville de Constantine (DHW ,2010).

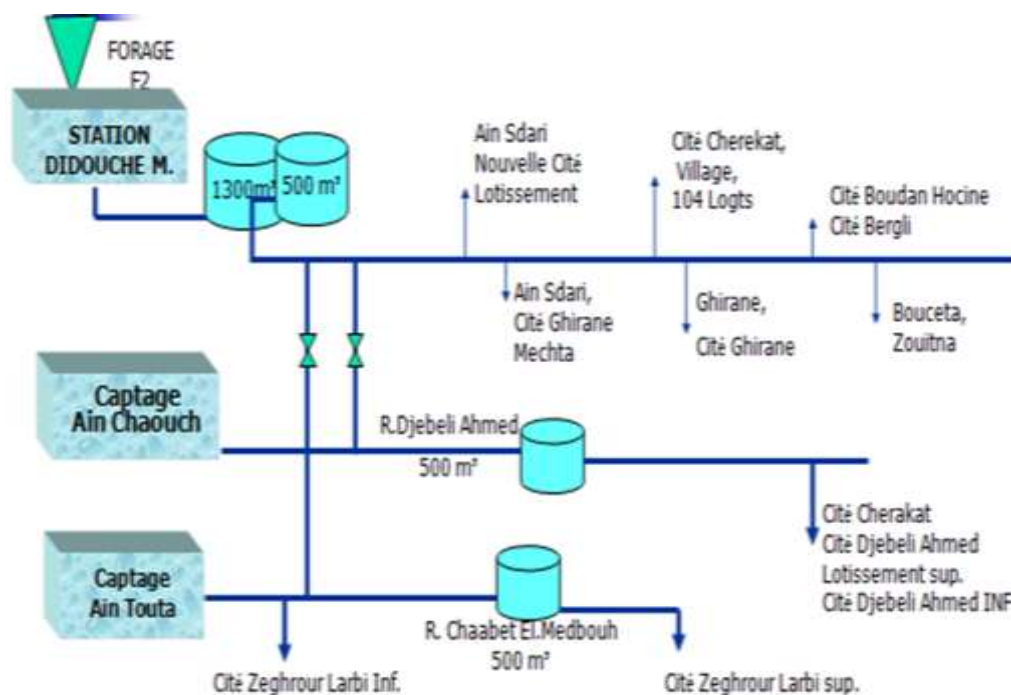
- Commune Hamma Bouziane

La commune de Hamma Bouziane contient 15 ouvrages de stockage avec une capacité totale de 7115 m<sup>3</sup> et 352 puits. Il y a aussi 4 stations de pompages gérées par la SEACO.

Les points de production sont comme suite :

-Chef-lieu : forage f2 (112 l/s) + Source Ain Chaouch (8 l/s)

- Békira : piquage conduits  $\Phi$  600 alimentant (20 l/s)
- Kaidi Abdellah : piquage conduits  $\Phi$ 200 alimentant Ibn Ziad (2 l/s)
- Chaabet Medbouh: source Djelloulia (5 l/s).
- Boukhlef : source (11/s) et Mechta la gare : forage (12 l/s).



**Figure.V.6.** Schéma synoptique de l'AEP de la commune de Hamma Bouziane (DHW, 2010).

### - Commune Ibn Ziad

Pour l'AEP de la commune d'Ibn Ziad, il y a l'existence de 17 ouvrages de stockages d'une capacité de 2560 m<sup>3</sup>, 26 puits et 2 stations de pompage.

Les points de production de la commune localisées en : Chef-lieu : 2 forages à Salah Bey + 3 sources = 50 l/s, Farrallah : Source = 3 l/s, Melha : Source = 4 l/s, Ouldjet Kadi + Benachour+ Khelfaoui : piquage conduite  $\Phi$  200 mm alimentant, Ibn Ziad (3 l/s). Le nombre de puits 26 et le nombre de station de pompage 02.

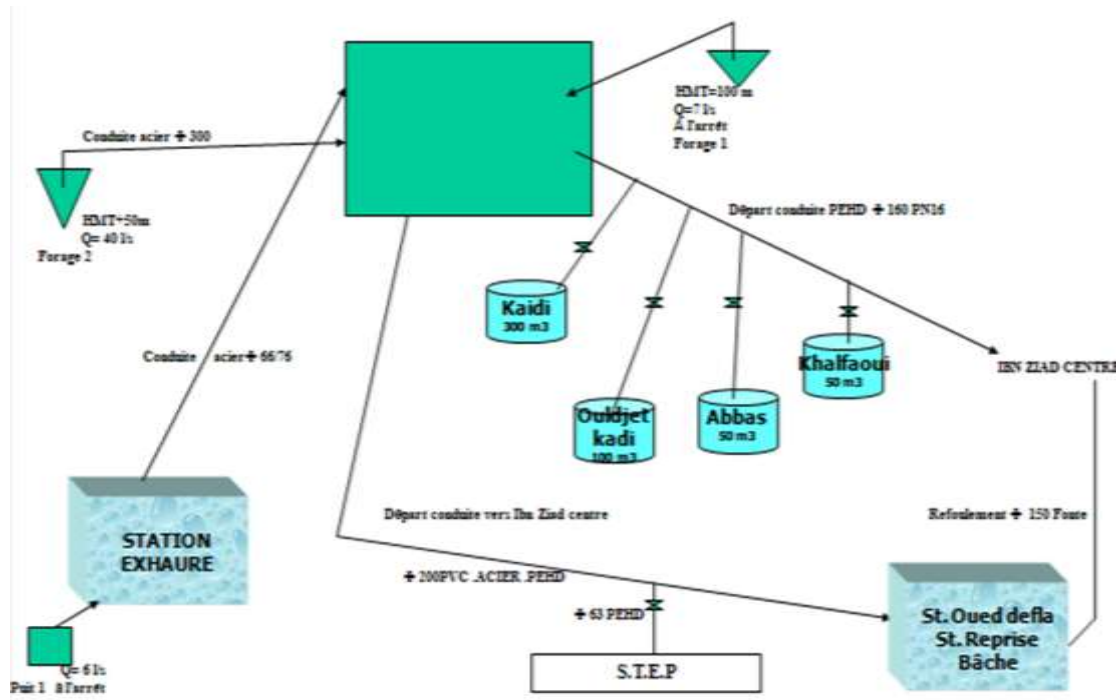


Figure.V.7. Schéma synoptique de l'AEP de la commune d'Ibn Ziad (DHW, 2010).

**-Commune Didouche Mourad**

Elle comporte 15 ouvrages de stockage d'une capacité totale de 7115 m<sup>3</sup> et de 62 puits. La plupart des agglomérations sont alimentées suivant des fréquences et des plages horaires de distribution de 30 % jour.

La commune de Didouche Mourad alimenté par les forages Ain Skhouna (72 l/s) localisées a Chef-lieu de commune, source (1 l/s) de Beni Mestina, source (2 l/s) d'Ain Kerma et source (3 l/s) de Sidi Arab. Elle comporte 15 ouvrages de stockage par capacité totale de 7115m<sup>3</sup> et 62 puits la plupart des agglomérations alimentent par en fréquence et plages horaires de distribution 30% en jour.

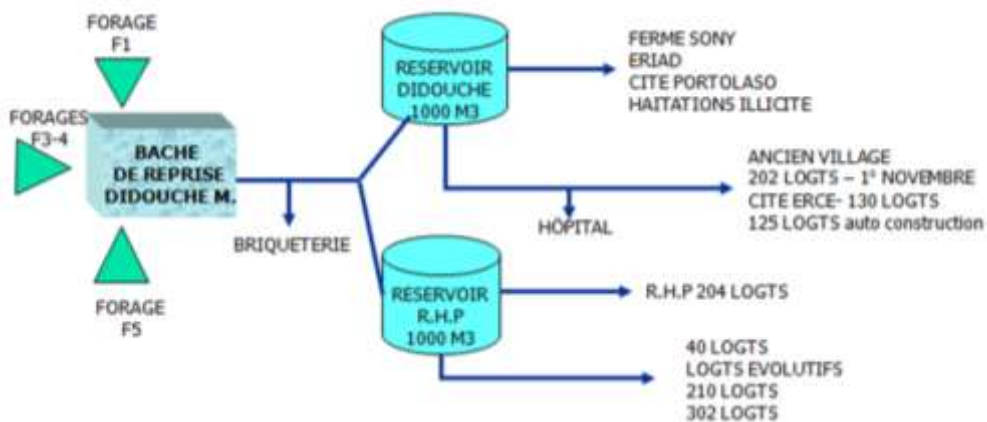
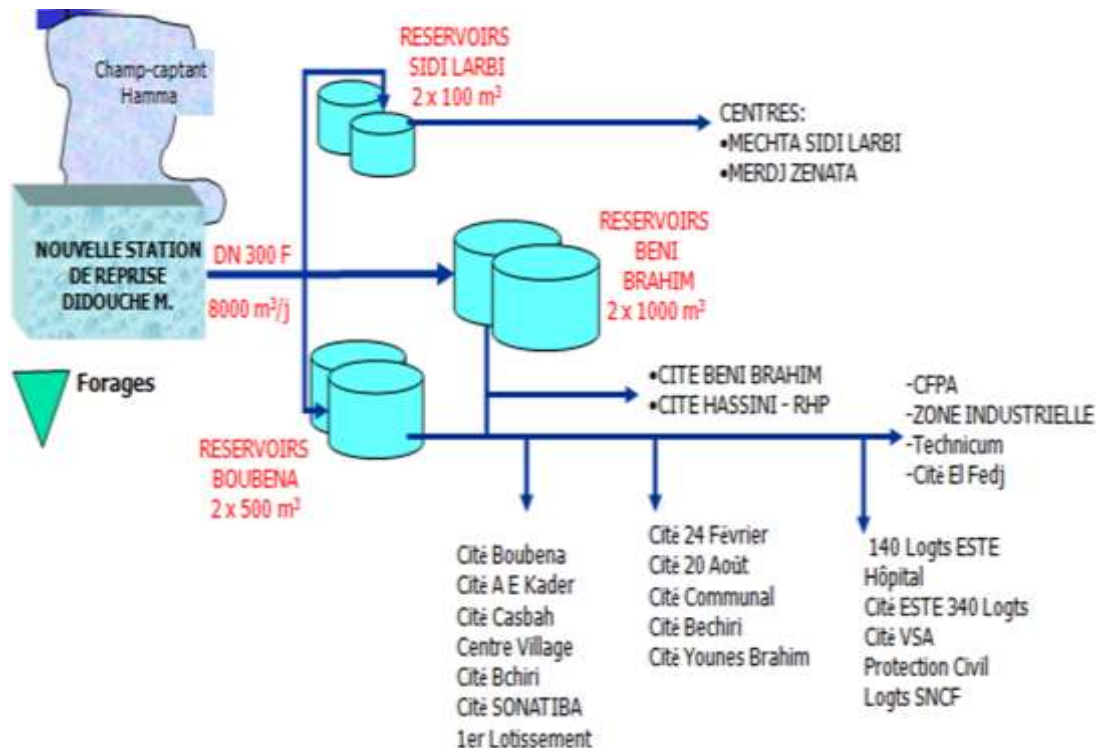


Figure.V.8. Schéma synoptique de l'AEP de la commune de Didouche Mourad (DHW, 2010).

### - Commune Zighoud Youcef

Pour l'AEP de 35300 habitants la commune de Zighoud Youcef est dotée de 18 ouvrages de stockages d'une capacité de 4520 m<sup>3</sup> et de 55 puits. Cependant, il y a six stations de pompes.

Les points de productions localisées dans : Chef-lieu avec forages Ain Skhouna (40l/s), Ksar Naadja : source (3l/s), Doghra : source (2l/s) et Domaine Bendjeddou : source (1 l/s).



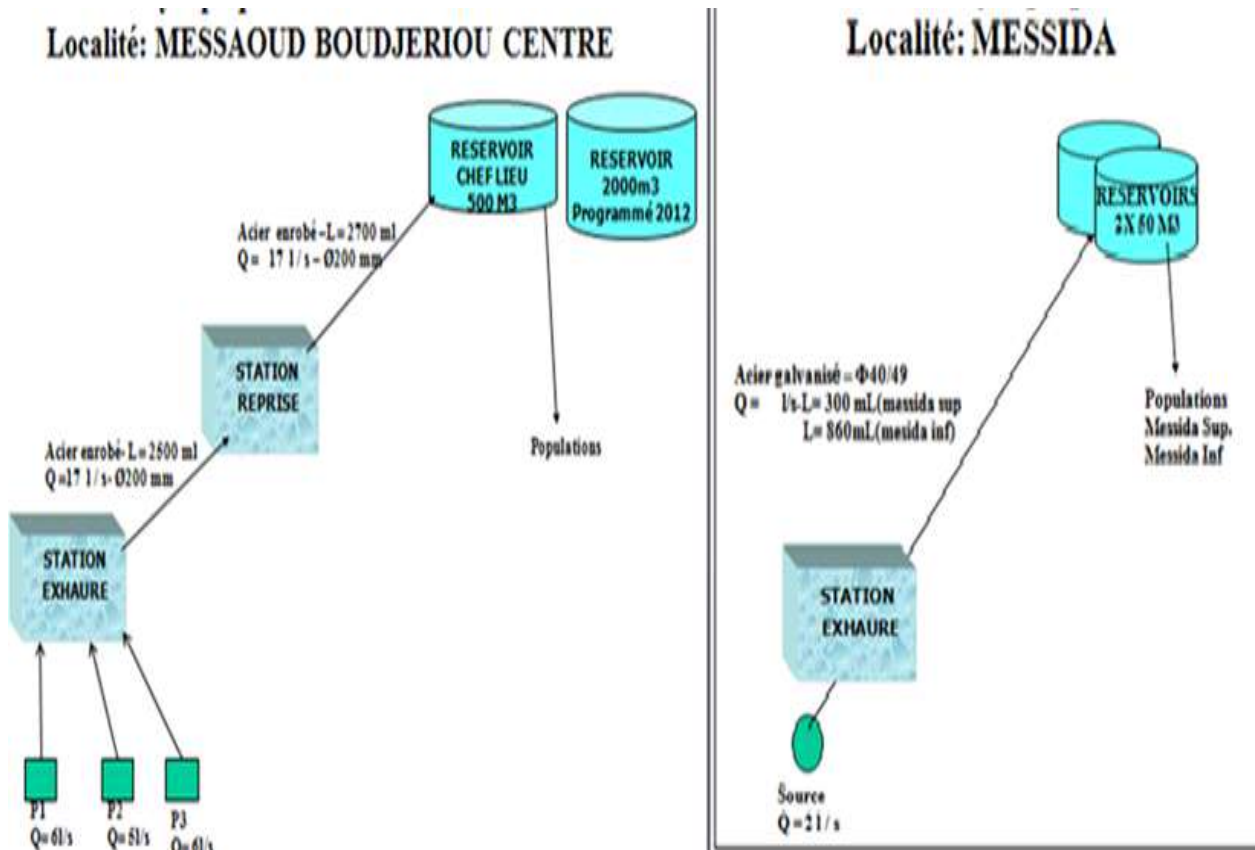
**Figure.V.9.** Schéma synoptique de l'AEP de la commune de Zighoud Youcef (DHW, 2010).

### - commune Messaoud Boudjeriou

Cette commune dépend de sept réservoirs d'une capacité totale de 1150 m<sup>3</sup> et englobe 73 puits.

On peut citer les points de production en eau potable dans la commune de Messaoud Boudjeriou comme suite : Chef-lieu : 3 puits (12.5 l/s), Messida : Source (2l/s), Ain Kébira : puit (5l/s) + source (1 l/s), Boukhelfa : source (1 l/s), Boukessiba : Source (1 l/s) et Kef Béni hamza : Source (1 l/s).

-Ouvrages de stockage dans la commune en forme des réservoirs (07 réservoirs par capacité totale de 1150m<sup>3</sup>) plus 73 puits.

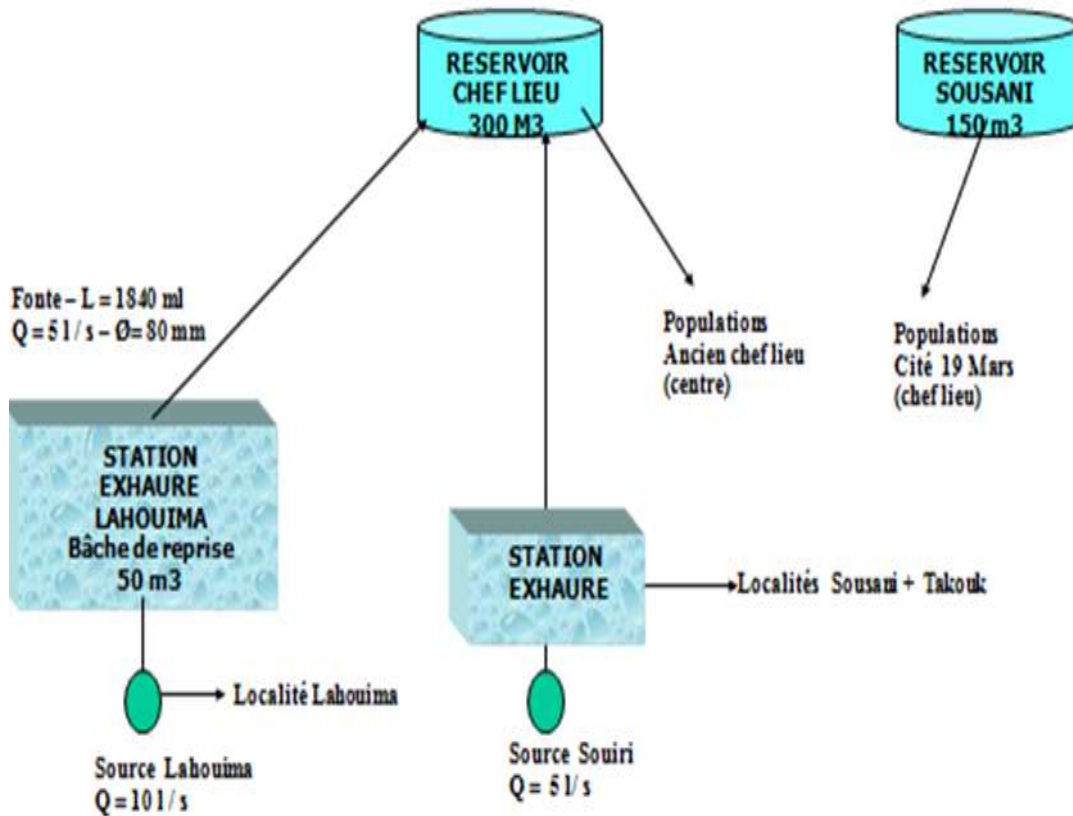


**Figure .V.10.** Schéma synoptique de l'AEP des localités de Messaoud Boudjeriou centre et Messida - commune de Messaoud Boudjeriou (DHW, 2010).

### - Commune de Beni Hamidene

La population de la commune de Béni Hamidene est alimentée en eau potable par 14 ouvrages de stockage d'une capacité totale de 1780 m<sup>3</sup> dont 13 réservoirs d'une capacité de 1480 m<sup>3</sup>, d'un château d'eau de 300 m<sup>3</sup> et de 17 puits. La gestion de l'eau est renforcée par sept stations de pompages.

Les points de production de ces ouvrages localisées a : Chef-lieu par la source Lahouima (8l/s), Merra une source (2l/s), Safsafa une source (2l/s), Sidi Khemis une source (3l/s), et Sousani + Takouk par une source (9 l/s) iles gestions par 07 station de pompages, et contient 17 puits.



**Figure .V.11.** Schéma synoptique de l'AEP de la localité de Beni Hamidene  
Commune de Beni Hamidene centre (DHW, 2010)

## V.7. Conclusion

Le Global Water Partnership (GWP) définit la GIRE comme un processus qui favorise le développement coordonné et la gestion des ressources en eau, de la terre et des ressources connexes, afin de maximiser le bien-être économique et social de façon équitable sans compromettre la durabilité d'écosystèmes vitaux (TAC-GWP, 2000).

La conférence de Dublin de 1992, a donné naissance à quatre principes qui ont servi de base, à une grande partie de la réforme suivante du secteur de l'eau :

Principe 1. L'eau douce est une ressource finie et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement.

Principe 2. La mise en valeur et gestion de l'eau devrait se baser sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux.

Principe 3. Les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la sauvegarde de l'eau.

Principe 4. L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue aussi bien comme bien économique que bien social.

Pour la mobilisation des ressources superficielles, la wilaya de Constantine dispose actuellement de deux barrages : le barrage de béni Haroun et barrage de Hammam Grouz d'une capacité respective de 998Hm<sup>3</sup> et 795Hm<sup>3</sup> destiné a l'AEP et d'un volume annuel régularisé de 495 millions de m<sup>3</sup>/an et de 9,55 hm<sup>3</sup>/an.

La wilaya de Constantine dispose de 17 retenues collinaires d'une capacité de 7,973 hm<sup>3</sup> qui a permis l'irrigation de 401 ha, et d'une superficies irriguer de 718ha,

L'exploitation de ces aquifères se fait à l'aide des 69 forages, des exploités soutirés par les forages est destiné à l'AEP, à l'irrigation et à industrie et de 3295,1 l/s, 30 forages seront destinés à l'AEP, avec débit de 1200l/s.

La dotation journalière moyenne en eau potable a presque doublé entre 2006 à 2008, passant à 70l/j/hab, également pour le taux raccordement qui était pour la même période à 79% et passé à 94% et le réseau d'AEP s'est développé sur 1500km.

Pour faire face à la demande en eau future les projets en cours sont :

- un projet de l'aval du couloir n°3 en cour de lancement ;
- la construction de deux réservoirs de 50000 m<sup>3</sup> à Ain El Bey et Guemas ;

La réalisation d'une conduite de 800 mm sur 7000 ml reliant Guemas-Camp (DHW) .



## **Chapitre VI**

# **Modélisation, simulation et l'évaluation future de la demande en eau de sous bassin Rhumel-Smendou**

Ce chapitre présente une étude d'un cas de modélisation de la demande en eau d'un sous-bassin du grand bassin du Kébir Rhummel qui est le Rhumel-Smendou. L'étude de la demande en eau respecte les limites naturelles du sous bassin et s'adapte aux recommandations des principes de la GIRE. Cependant, il faut rappeler que le choix du sous-bassin a été pris aussi selon la disponibilité de données sur la ressource et la demande en eau pour les trois principaux secteurs : l'AEP, l'agriculture et l'industrie. Ensuite on a décrit les données, et les paramètres supposés et utilisées pour le calibrage du modèle, le choix des hypothèses clés de référence et le choix des hypothèses de chacun des 5 scénarios simulés. Afin d'aboutir au choix du meilleur scénario alternatif de gestion de l'eau de du Rhumel-Smendou, sur la période allant de 2007 à 2050.

### **VI.1. Système d'Aide à la Décision et modélisation**

Les décideurs et les utilisateurs de l'eau devraient avoir confiance dans les résultats du (SAD). À cette fin, il est nécessaire d'établir une relation étroite entre le modélisateur, les décideurs et les utilisateurs de l'eau lors de la construction du SAD. La participation, la supervision et la rétroaction des personnes impliquées dans le processus de gestion de l'eau sont nécessaires pour renforcer la confiance dans le SAD et ses résultats.

En raison de l'amélioration de la capacité de calcul informatique au cours des deux dernières décennies, les systèmes de distribution d'eau ont été utilisés plus fréquemment pour représenter les systèmes d'eau et évaluer les politiques alternatives de gestion de l'eau.

Dans le cadre de notre étude, le Water Evaluation And Planning System (WEAP) a été sélectionné sur d'autres modèles de ressources en eau, car il s'agit d'un outil logiciel convivial, bien documenté, avec de belles interfaces graphiques (GUI en anglais), et se concentre sur la gestion des ressources en eau et le bilan hydrologique.

#### **VI.1.1 Water Evaluation And Planning system**

Le logiciel WEAP a été développé par le Stockholm Environment Institute de Boston. C'est un logiciel de modélisation informatique orienté objet, conçu pour simuler les systèmes de ressources en eau et l'analyse des compromis. WEAP (Évaluation et planification de l'eau) est un logiciel unique de planification des ressources en eau qui permet au modélisateur de tenir compte du changement climatique grâce à un module de ruissellement interne qui simule les régimes hydrologiques en fonction des apports climatiques. Cette capacité à inclure le changement climatique dans l'élaboration de futurs scénarios en fait un outil potentiellement puissant pour informer l'élaboration de politiques d'adaptation au changement climatique (Harris, 2007 ; Sakka, 2010).

WEAP stocke les informations caractérisant un système d'eau dans une base de données transparente et facile à utiliser. La caractérisation comprend les modes d'utilisation de l'eau, les pertes, les flux environnementaux, les priorités du côté de la demande, les sources d'approvisionnement, les régimes hydrologiques, le stockage des eaux de surface et souterraines, les coûts et les règles d'allocation. Les rivières, les canaux, les sites de demande, les stations d'épuration et de traitement des eaux usées, les installations de transport et de

pompage, les sources d'eau locales, les réservoirs d'eau souterraine et de surface sont rapidement reliés entre eux et peuvent être organisés pour correspondre à des emplacements géographiques réels à l'aide de couches de cartes SIG importées (Lévite et al., 2002 ; Sakka, 2010).

Le WEAP produit des résultats qui démontrent si la demande en eau est satisfaite au cours d'un mois donné, le degré de pénurie d'eau en cas de pénurie, les niveaux de stockage dans les réservoirs pour utilisation future et les mesures de la qualité de l'eau. WEAP évalue également la suffisance des débits environnementaux, le niveau de la capacité de production hydroélectrique et l'évolution de l'humidité du sol, les taux d'évapotranspiration, le volume des eaux de ruissellement et le taux de recharge des eaux souterraines (Harris, 2007 ; Sakka, 2010).

## VI.2. Principaux objectifs du logiciel

Les principaux objectifs du logiciel sont les suivants :

1- Identification et évaluation des impacts du changement climatique sur l'eau pour l'agriculture, les loisirs, la production hydroélectrique, l'eau à usage municipal et industriel, la fonction et la santé de l'habitat, la biodiversité, la purification de l'eau ;

2- Simulation de la demande, les débits et le stockage de l'eau et la production de pollution (capacité d'évaluation environnementale);

3- Fourniture à travers son interface graphique un moyen simple mais puissant de construction ;

4- Visualisation et modification du système et ses données (gestion de base de données, prévision et analyse.) ;

5- Modélisation détaillée de la demande d'approvisionnement (prévision, planification et évaluation) ;

6- Évaluation des modèles actuels de développement et de modification des terres (utilisation des terres / couverture des terres et changements démographiques) ;

7- Examen d'autres stratégies de développement et de gestion de l'eau, y compris des stratégies d'adaptation.

8- Exploration des aspects physiques, sociaux et institutionnels qui ont un impact sur la gestion des bassins versants, planification intégrée des ressources en eau pouvant avoir une incidence sur les politiques de conservation de l'eau.

## VI .3. Analyse du scénario

Les scénarios sont des ensembles alternatifs d'hypothèses telles que différentes politiques d'exploitation, coûts et facteurs influant sur la demande tels que stratégies de gestion de la demande, sources d'approvisionnement alternatives et hypothèses hydrologiques. Les variations de ces données pouvant augmenter ou diminuer à différents niveaux de planification (Yates *et al*, 2005).

Les scénarios peuvent aborder un large éventail de questions « et si », telles que : Que se passe-t-il si la croissance de la population et les modèles de développement économique changent ? Que faire si les règles d'exploitation du réservoir sont modifiées ? Et si les eaux souterraines sont plus pleinement exploitées ? Et si la conservation de l'eau est introduite ? Et

si les exigences de l'écosystème sont resserrées ? Et si de nouvelles sources de pollution de l'eau sont ajoutées ? Et si un programme de recyclage de l'eau est mis en œuvre ? Et si une technique d'irrigation plus efficace est mise en œuvre ? Et si le mélange de cultures agricoles change ?

Et si le changement climatique modifiait l'hydrologie ? Ces scénarios peuvent être visualisés simultanément dans les résultats pour faciliter la comparaison de leurs effets sur le système d'eau (Yates *et al*, 2005),

## **VI.4. Fonctionnement du logiciel**

### **VI.4.1. Création d'une zone d'étude**

Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (Global mapper) en particulier ArcWiev. Cette carte va servir comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que : les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages les industries, les sites agricultures et les autres types d'emplacement selon l'étude (Rakotondrabe, 2007).

### **VI.4.2. Création des hypothèses Clés de références**

Puisque le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et L'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, et le traitement général de pollution, la qualité de l'eau, etc.... Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarii (Rakotondrabe, 2007).

#### **VI.4.2.1. Hypothèses clés**

Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons cinq (5) hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel.

#### **VI.4.2.2. Références**

Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence. (Rakotondrabe, 2007).

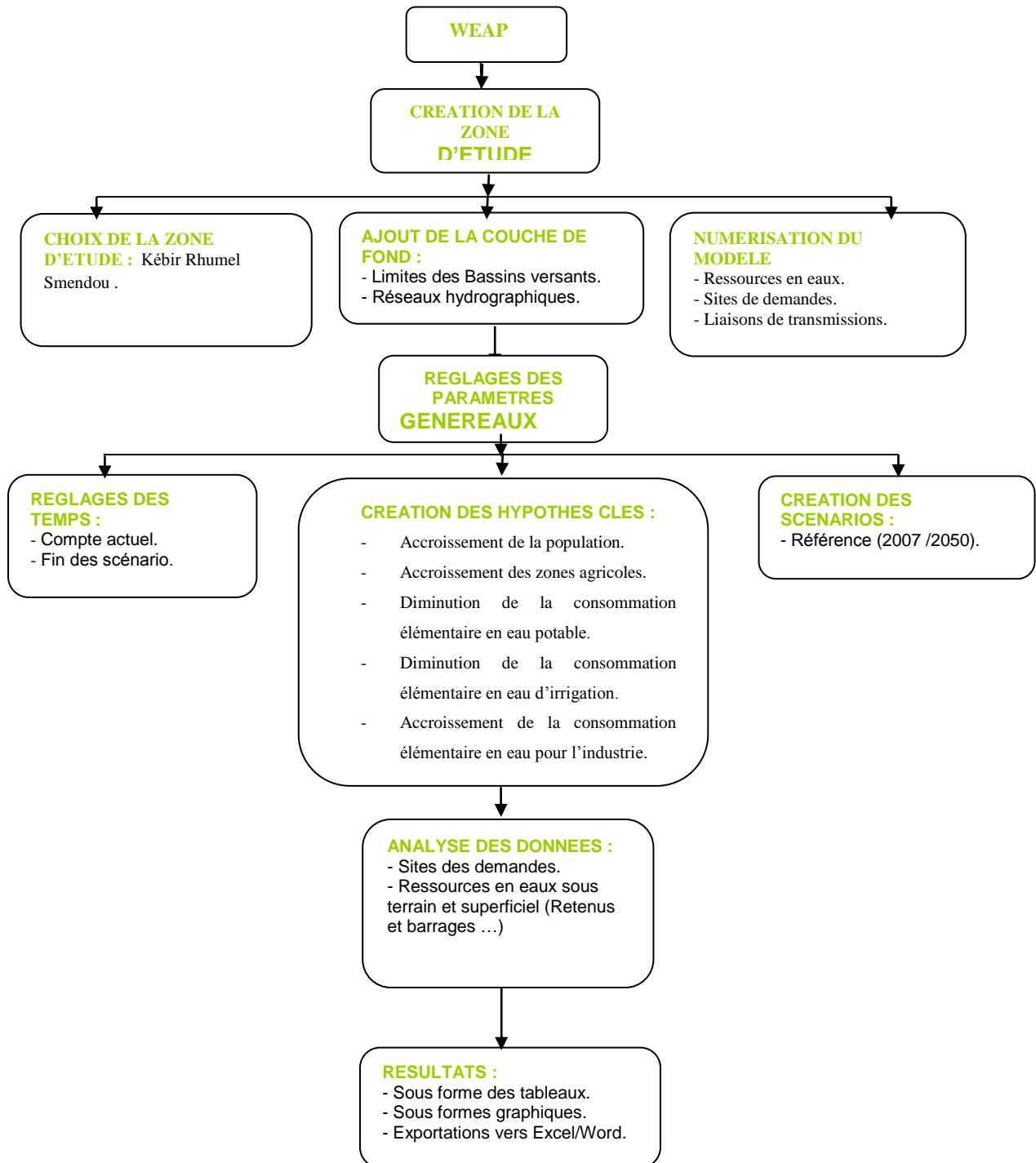
### **VI.4.3. Proposition de Scénarios**

Une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarii pour évaluer les effets des changements socioéconomiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur (Rakotondrabe, 2007).

#### VI.4.4. Saisie des données

Les données sont à saisir en cliquant à droite après avoir créé les éléments sur le schéma de la zone d'étude (placer les emplacements urbains, industriels, agricoles,.....) ou en passant dans le menu d'affichage de la base de données.

Et enfin, les résultats se présentent sous forme de graphes et (ou) de tableaux (Rakotondrabe, 2007).



**FigureVI.1.** Organigramme du fonctionnement du logiciel (Rakotondrabe, 2007).

## VI.5. Données utilisées

Pour faire la calibration du modèle on a utilisé les données sur l’approvisionnement et la demande en eau de l’année 2007, en se basant sur la ressource et la demande de la plus basse division administrative qui est la commune.

Selon les données de l'ABH-CSM de l'année 2007, les potentialités totales en eaux superficielles et souterraines de la région de Constantine sont respectivement de 13 millions  $m^3$  / an et de 63 millions  $m^3$  / an juste à titre indicatif. Cependant, les ressources en eau sont extraites des aquifères du Cénomanien et du Miopliocène pour les ressources en eau souterraines, et des barrages et des retenues collinaires pour les ressources en eau de surface.

### VI.5.1. Paramétrisation des sites de ressources

#### VI.5.1.1. Ressources souterraines

Dans l’étape de calibrage du modèle, on a réalisé la structuration des données disponibles de 2007, comme suit :

##### VI.5.1.1.1 Données d’approvisionnement pour l’AEP

En considérant que l'aquifère du Cénomanien fournit la majorité de l'eau potable communale. Et l'aquifère du Miopliocène fournit seulement une partie des besoins en eau potable la commune de Constantine.

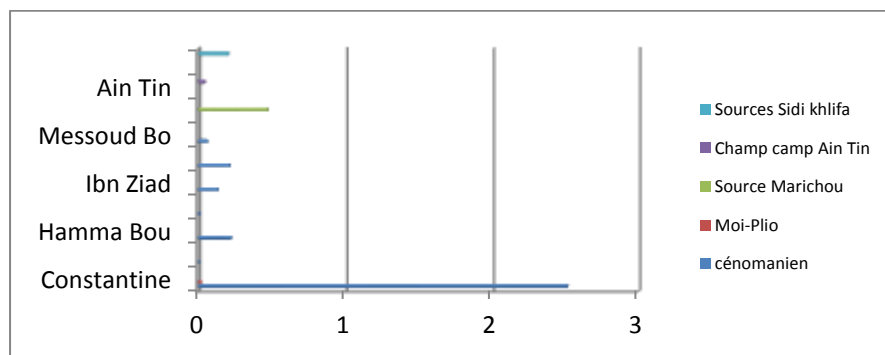


Figure VI.2. Alimentation en eau potable à partir des eaux souterraines en  $Mm^3$ / mois

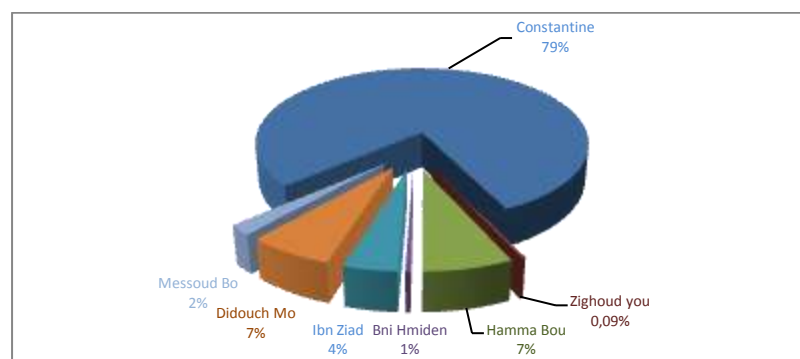
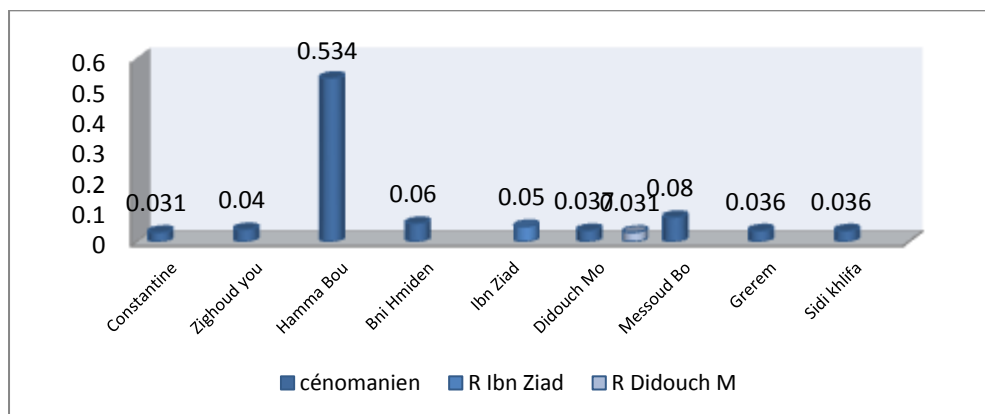


Figure VI.3. Approvisionnement en eau à partir du Cénomanien  $Mm^3$ / mois

### VI.5.1.1.2. Données d’approvisionnement pour l’irrigation

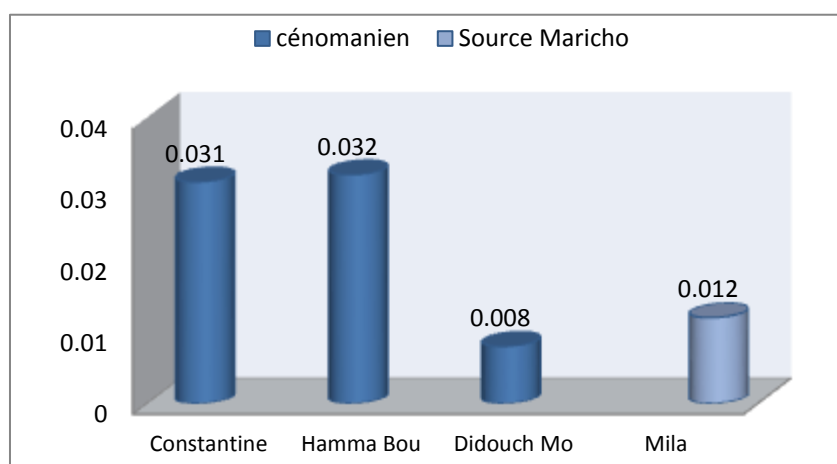
Comme précédemment dans le calibrage du modèle, l'aquifère du Cénomaniens fournit la majorité des sites de demande en eau pour l'irrigation, à l'exception de ceux des communes de Constantine, Hamma Bouziane, Béni Hamidene, Didouche Mourad, Messaoud Boudjriou, Grarem, et Sidi Khelifa. D'autre part les retenues d'Ibn Ziad et de Didouche Mourad sont alimentés luis mêmes.



**Figure VI.4.** Approvisionnement pour l’irrigation à partir des eaux souterraines et superficiel.

### VI.5.1.1.3. Données d’approvisionnement pour l’industrie

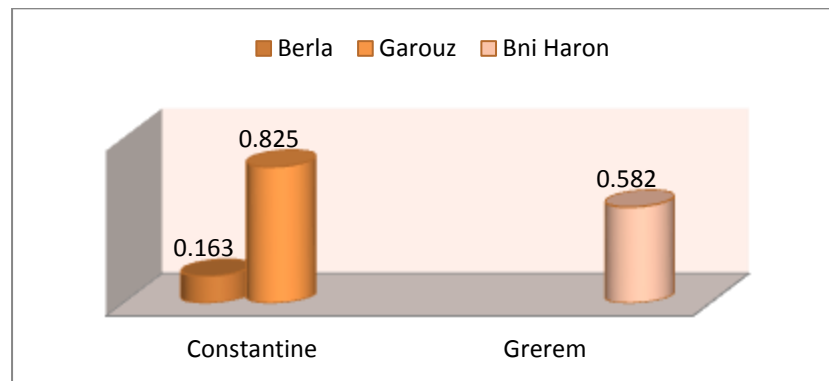
D'une part l'aquifère du Cénomaniens alimente pratiquement tous les sites de demande en eau pour l'industrie, en l'occurrence Constantine, Hamma Bouziane, et Didouche Mourad. D'autre part, la source de Maréchau alimenté la commune de Mila pour les besoins en eau industrielle.



**Figure VI.5.** Approvisionnement pour l’industrie à partir des eaux souterraines en  $Mm^3$ /mois.

### VI.5.1.2. Eaux de surface

Les volumes mobilisés d'eau de surface sont nécessaires, en utilisant la capacité de stockage ( $m^3$ ) et les débits entrants ( $m^3/s$ ) à partir des retenues, avec la capacité de stockage ( $m^3$ ), le stockage initial ( $m^3$ ) et les flux entrants à partir des barrages en ( $m^3/s$ ).



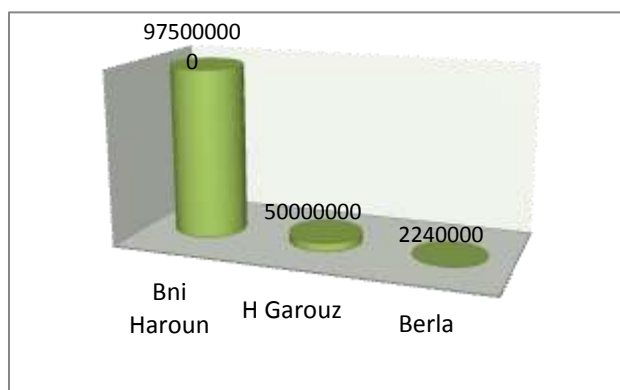
**Figure VI.6.** Alimentation en eau potable à partir des eaux de surface en  $Mm^3$ /mois

### VI.5.1.3. Barrages

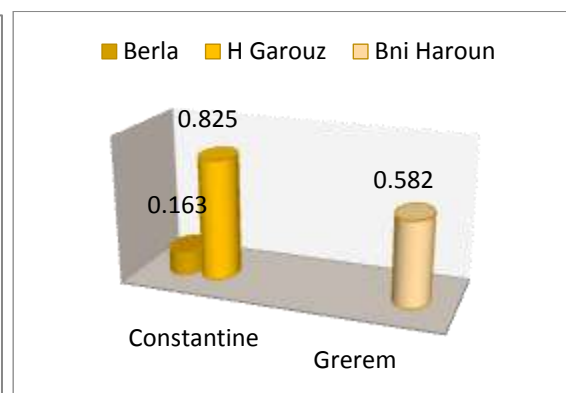
Le barrage de Hammam Grouz (commune d'El Athménia - wilaya de Mila) répond à la demande en eau potable des communes de Constantine. Cependant, le barrage de Berla est destiné à assurer une partie de l'eau potable de la commune de Constantine et le barrage de Béni Haroun alimente uniquement Grerem.

Pour le calibrage du modèle trois principaux paramètres des barrages ont été utilisés:

1. La capacité initiale du barrage de Hammam Grouz qui est de l'ordre de  $45000000 m^3$  et celle du barrage de Berla qui est de  $1950000 m^3$  ;
2. Les débits entrants aux barrages sont de  $1.41 m^3/s$  à Hammam Grouz est de  $0,048 m^3/s$  au barrage de Berla ;
3. La capacité des barrages est de  $50000000 m^3$  pour celui de Hammam Grouz et de  $2240000 m^3$  pour le barrage de Berla.



**Figure VI.7.** Capacité des barrages ( $Mm^3$ ).

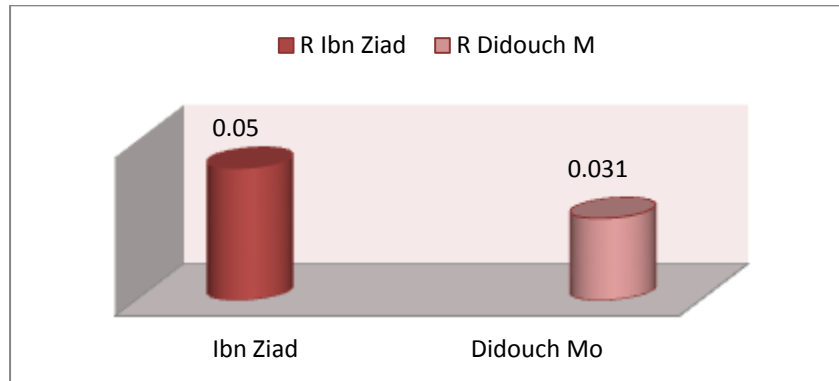


**Figure VI.8.** Alimentation en eau potable en  $Mm^3$ /mois depuis les barrages.



#### VI.5.1.4. Retenues collinaires

Dans la wilaya de Constantine, on note l'existence de huit retenues collinaires, destinés à irriguer les cultures, dont deux assurent l'irrigation des cultures de la commune de Didouche Mourad, Ibn Ziad (ABH-CSM, 2007).



**Figure VI.9.** Approvisionnement pour l'irrigation à partir des retenues en Mm<sup>3</sup>/m

### VI.6. Calibrage des sites de demande

Pour caractériser la demande en eau urbaine, agricole et industrielle, nous avons utilisé aussi comme précédemment, les données de l'Agence hydrographique du bassin hydrographique Constantinois Seybouse Mellègue (ABH-CSM, 2007) et l'Office National de la Statistique (ONS, 2008) :

#### VI.6.1. Sites de demande urbains

Croissance démographique et alimentation en eau potable

Les données utilisées pour la calibration concernent :

- Le nombre d'habitants et les taux d'accroissement de la population par commune (ONS, 2008) ;
- La consommation communale annuelle d'eau en m<sup>3</sup>/habitant ;
- le pourcentage de consommation d'eau par commune ;
- Le pourcentage des niveaux de perte (ABH-CSM, 2007) ;
- La priorité est supposée égale à 1 pour tous les sites de demande ;
- La consommation est supposée à 80 % ;
- Et enfin le pourcentage des fuites variant entre 10 % et 80 %.

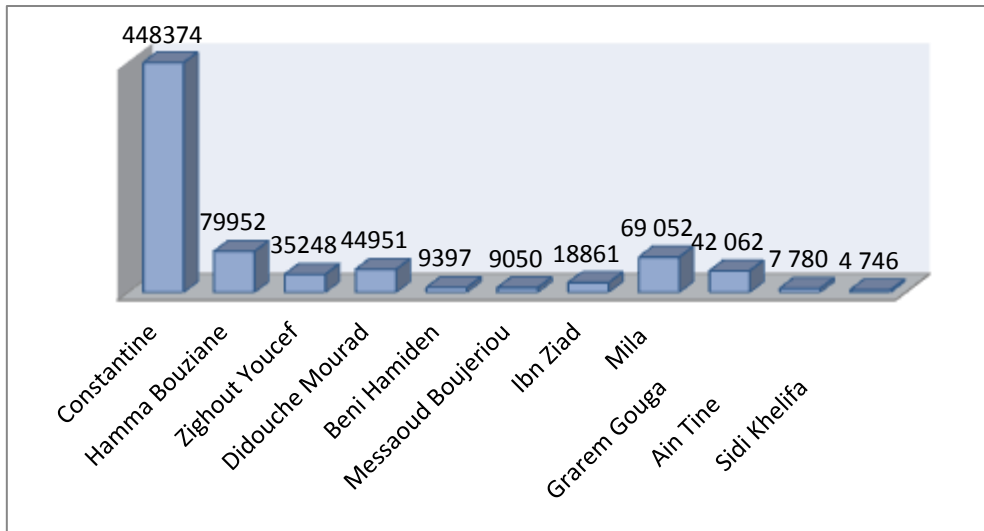


Figure VI.10. Nombre d'habitants par commune (ONS, 2008)

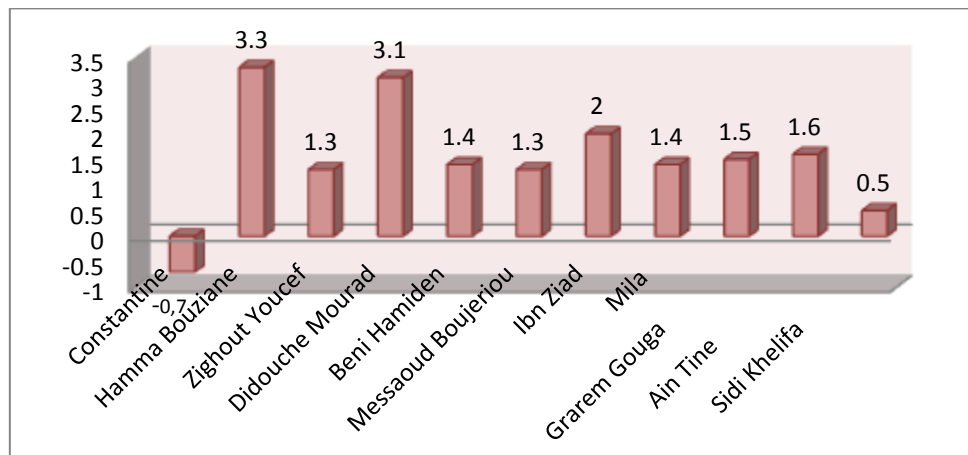


Figure VI.11. Taux d'accroissement de la population

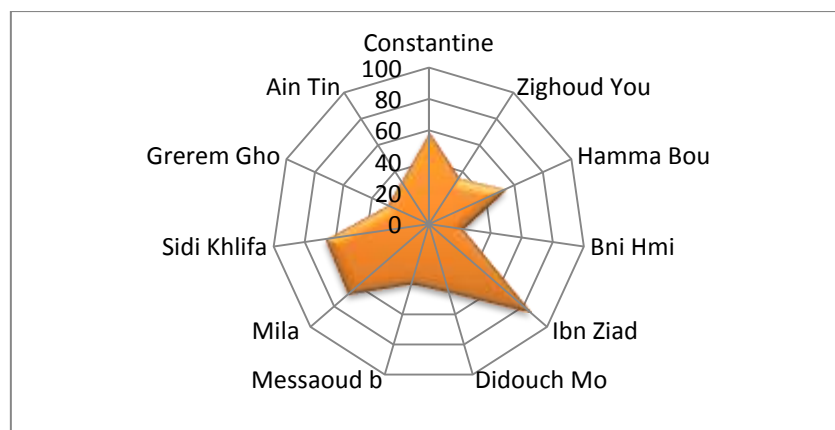


Figure VI.12. Consommation annuelle de l'AEP en m³/hab

### VI.6.2. Sites de demande agricoles

Les données utilisées pour la calibration concernent :

- La superficie des terres irriguées en hectares par commune ;
- La consommation annuelle d'eau des cultures en m<sup>3</sup>/ha par commune ;
- Le pourcentage de consommation d'eau par commune ;
- Et le pourcentage des niveaux de perte (ABH CSM, 2007).

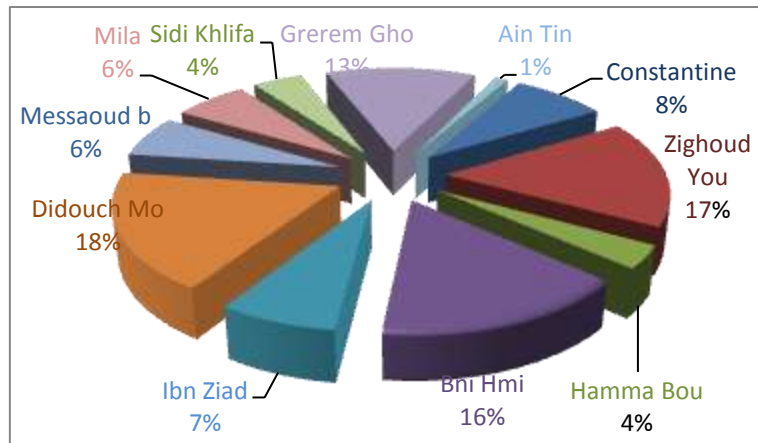


Figure VI.13. Surfaces irriguées en % de la surface totale

### VI.6.3. Sites de demande industriels

Les données utilisées pour la calibration concernent :

- La consommation annuelle d'eau industrielle en m<sup>3</sup> par commune ;
- Le pourcentage de consommation d'eau par commune ;
- Et le pourcentage des pertes (ABH CSM, 2007).

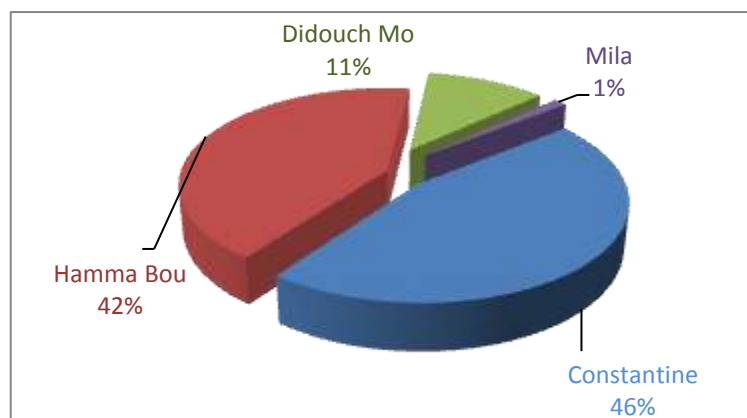


Figure VI.14. Consommation annuelle en eau pour l'industrie

## **VI.7. Priorités des sites de demande et préférences des sites de ressources**

Les « priorités des sites de demande » et les « préférences des sites d'approvisionnement » en eau, sont des éléments importants dans l'assemblage de données.

Dans cette étude, nous avons attribué :

- La priorité 1 aux sites de demande domestique ;
- La priorité 2 aux sites de demande agricole ;
- Et la priorité 3 aux sites de demande industrielle.

Et nous avons utilisé les préférences, comme suit :

### ***VI.1.7.1. Alimentation en eau potable***

- La préférence 1 et/ou 2 pour l'AEP à partir de l'aquifère du cénomanien et/et moi-pliocène et/ou champs captant et/ou les sources ;
- La préférence 3 et/ou 4 pour l'AEP à partir des barrages de Beni Haroun et/ou de Oued El atmania et/ou Hammam Grouz et aussi à partir des retenues collinaires ;

### ***VI.7.1.2. Agriculture***

- la préférence 1 à partir d'une retenue et la préférence 2 à partir d'un barrage ;
- La préférence 3 pour l'alimentation des sites agricole à partir d'un aquifère ;

### ***VI.7.1.3. Industrie***

- La préférence 1 à partir d'un barrage et la préférence 2 et retenues collinaires;
- La préférence 3 pour l'alimentation des sites industriel à partir d'un aquifère ;

## **VI.8. Schématisation du modèle conceptuel**

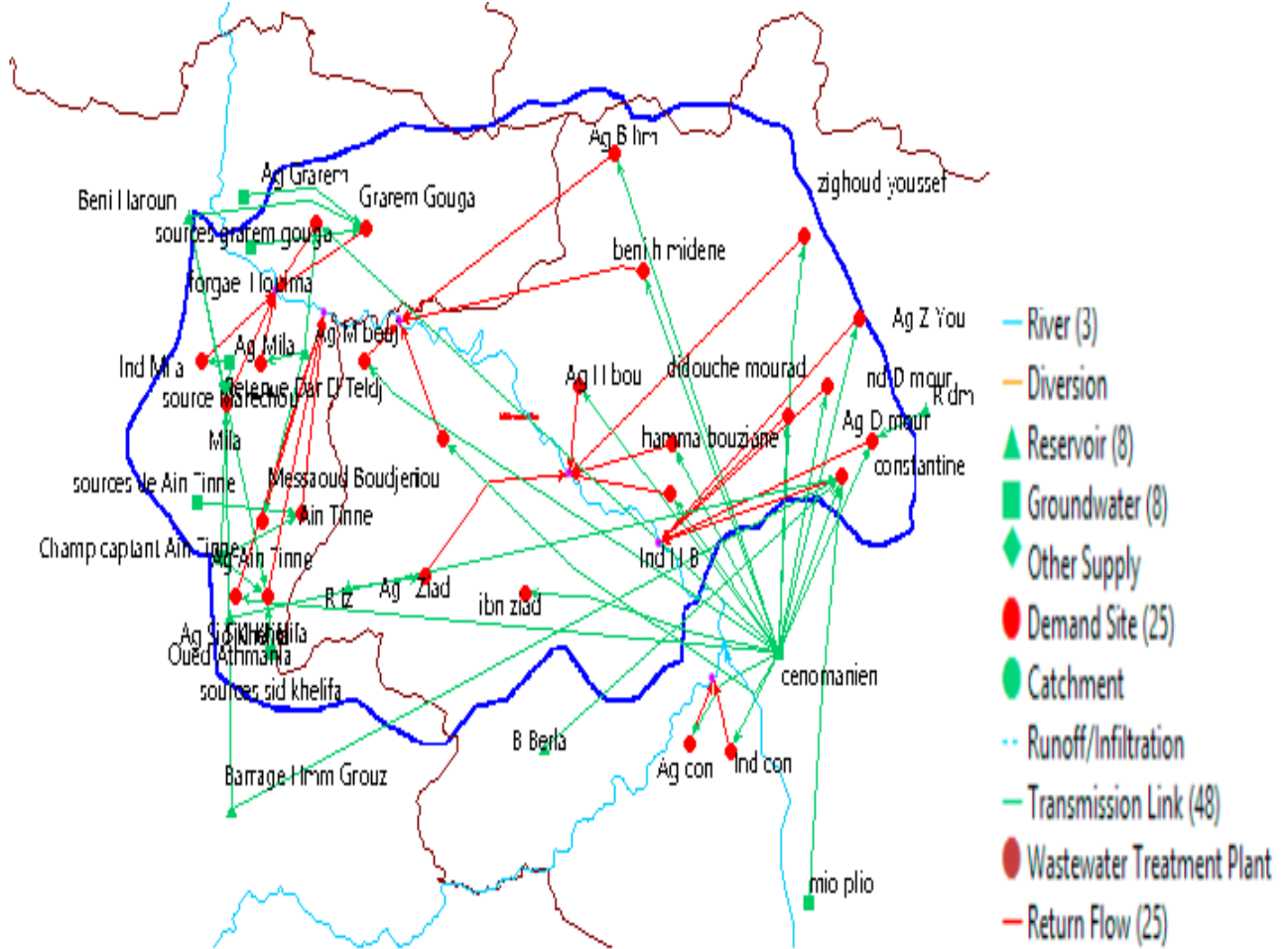
De manière générale, pour calibrer le modèle on commence avec un schéma du système fluvial qui peut être placé sur un raster, puis nous saisissons les données avec une série de boîtes de dialogue.

Ces données concernent l'utilisation de l'eau, la perte et la réutilisation de l'eau, la gestion de la demande, les priorités,...etc. Cependant, on peut tout afficher dans les mêmes interfaces utilisateur dans les graphiques et les tableaux et sur le schéma du système fluvial.

Des scénarios décrivant différentes mesures de l'offre et de la demande orientent le système et sont liés aux différents résultats (Voinov, 2013)

Nous créons un schéma du modèle conceptuel des ressources en eau dans la zone d'étude qui est la wilaya de Constantine avec ses communes, en utilisant des SRTM, des rasters et des shapefiles (fichiers de formes) (GADM, 2009). Ces cartes rasters et fichiers de formes serviront à créer des cartes vecteurs (WEAP) afin de visualiser les éléments nécessaires tels que les agglomérations, les oueds, les aquifères, les retenues, les barrages, les

industries, les zones agricoles et visualiser les limites administratives comme nous pouvons le montrer sur la figure VI.15. (SEI, 2008).

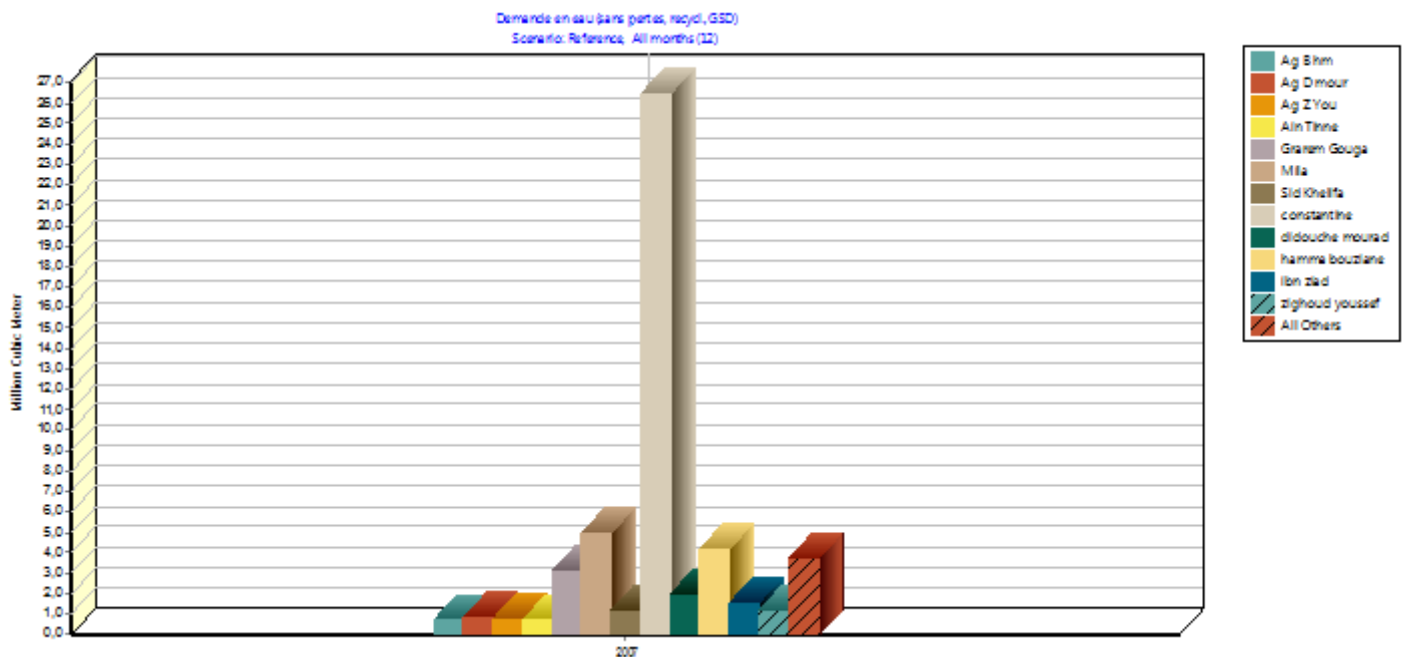


**Figur.VI.15.** Schéma du modèle conceptuel de distribution des ressources en eau du bassin versant de Rhumel-Smendou

### VI.9. Modèle des comptes courants

Pour le modèle «Comptes courants», l'année 2007 a été choisie pour servir d'année de référence. Cependant, il peut être considéré comme une étape d'étalonnage dans le développement d'une application, ce qui donne un aperçu de la demande réelle de l'eau, pour le système (Fig.VI.16). Ensuite, un scénario de référence établi, à partir des comptes courants pour simuler la même évolution du système sans intervention. Cependant, des hypothèses clés peuvent être intégrées dans les comptes courants pour représenter les politiques, les facteurs qui affectent la demande (SEI, 2008).

La figure .VI.16 présente la «demande en eau» pour les comptes courants de l'année 2007. Cependant, l'évolution de la «demande en eau» pour le scénario de référence 2007-2050 sans hypothèses présentée à la figure.VI.17.



**Figure.VI.16.** Demande en eau pour tous les sites (Année des comptes courants 2007)

## VI.9.1 Scénario de référence

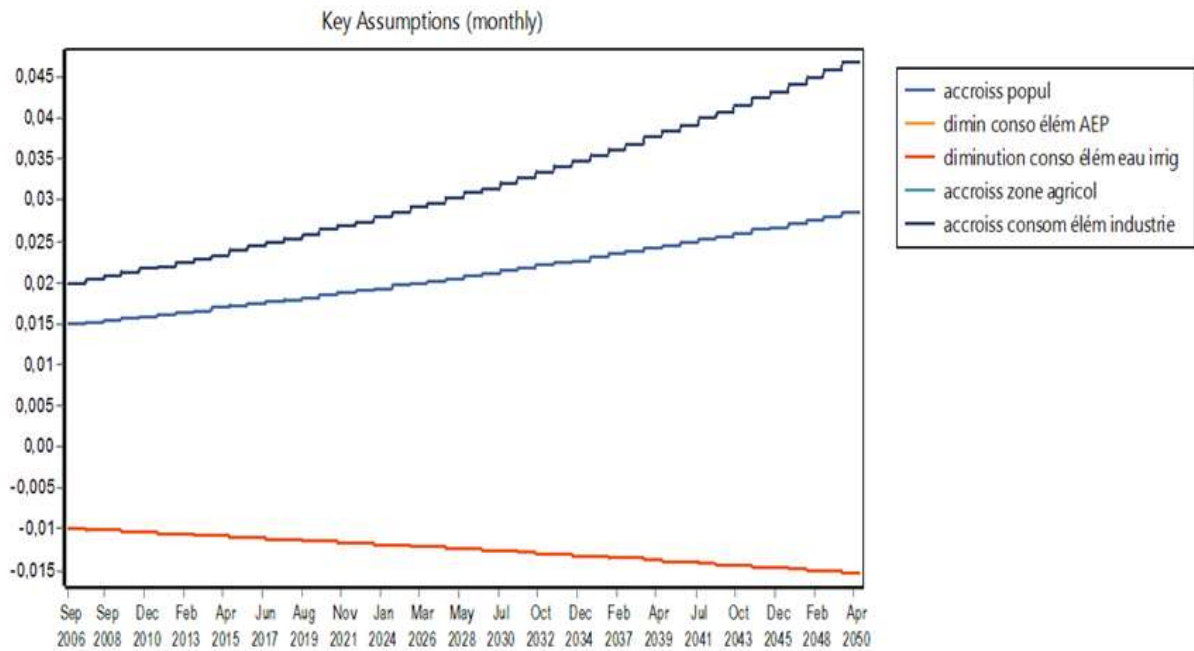
### *Hypothèses clés de référence*

Dans cette étape, il s'agit de présenter l'évolution de la «demande en eau» pour le scénario des comptes courants. Après avoir cartographié le modèle, il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Dans cette étude, nous avons pris seulement 2007 comme année de référence (l'année des comptes courants), en raison du manque actuel de données. Ensuite, nous devons créer les hypothèses clés, qui sont des variables que l'utilisateur WEAP peut définir et servir de clés principales pour l'analyse. Dans cette étude, nous avons identifié cinq hypothèses clés utilisées comme données de base du modèle (Kiniouar, 2017) :

1. Croissance démographique avec un taux de croissance choisi de 1,5% (moyenne de tous les coefficients de croissance démographique de toutes les communes (ONS, 2008)) ;
2. Augmentation des terres irriguées avec un taux de 2% ;
3. Diminution de la consommation d'eau potable de base avec un taux choisi de -1% ;
4. Diminution de la consommation élémentaire en eau d'irrigation avec un taux de -1% ;
5. Augmentation de la consommation d'eau industrielle de base avec un taux de 2%.

Cependant, il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle.

Dans cette étude, on a pris l'année de référence est 2007(année des comptes actuels), puisque c'est l'année où on dispose le plus de données nécessaires.



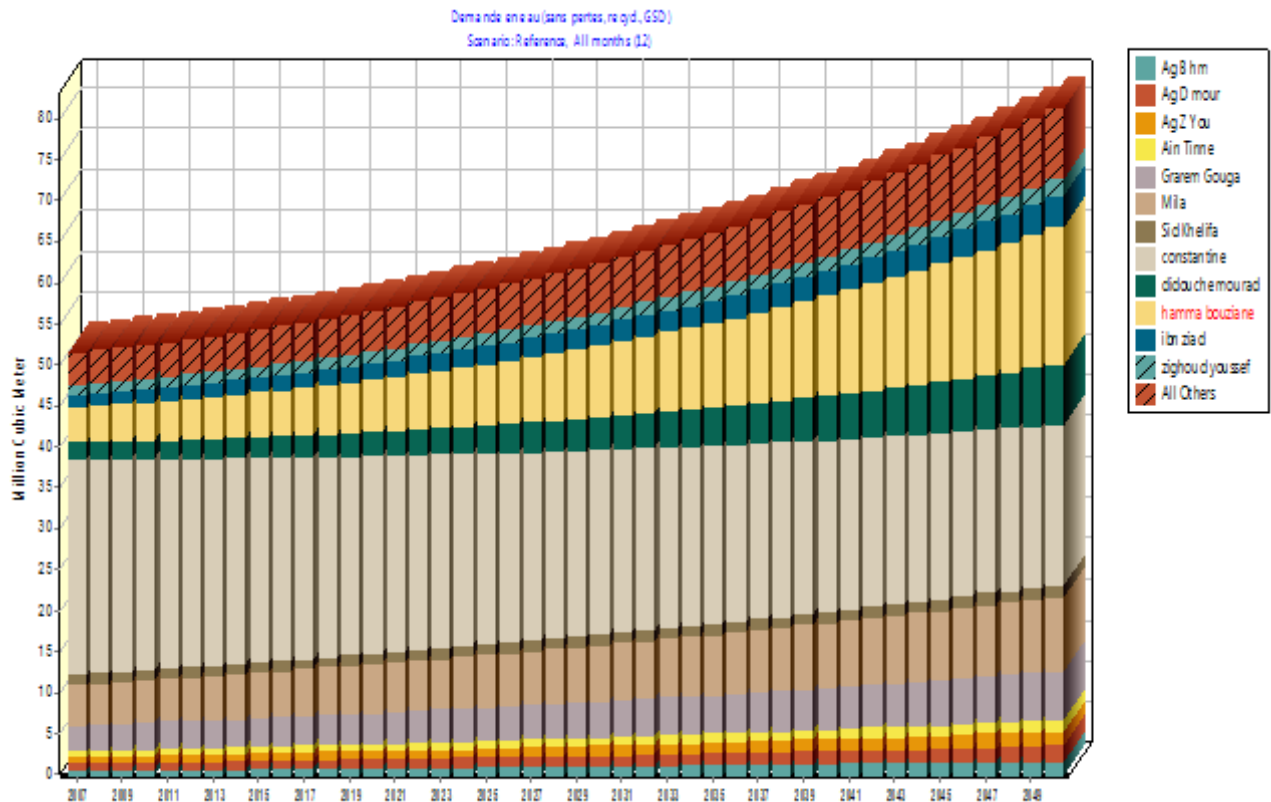
**Figure VI.17** : Hypothèses clés de référence.

### VI.10. Résultat de simulation du scénario des comptes actuels

La demande en eau totale dans le sous-bassin versant de Rhumel-Smendou passera de 51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 81,3 Mm<sup>3</sup> en 2050 (Fig.VI.18). Cependant, la demande en eau potable totale passera de 46 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 68,4 Mm<sup>3</sup> en 2050. En particulier là où se trouvent les principales villes telles que, Hamma Bouziane et Mila, qui ont des besoins en eau relativement élevés, pouvant augmenter de 12,6 Mm<sup>3</sup> et 4,1 Mm<sup>3</sup> respectivement, en 2050.

En revanche, une diminution de 6,9 Mm<sup>3</sup> en 2050, observée à la commune de Constantine (Fig.VI.18)

L'augmentation relativement importante de la demande en eau dans les communes de Hamma Bouziane et Mila est justifiée par la population relativement élevée et le taux de croissance démographique relativement élevé, avec 3,3% et 1,4% respectivement. Cependant, la diminution dans la commune de Constantine est la cause de diminution du taux (d'accroissement) démographique (-0,7%), en raison du phénomène de migration de la population vers les communes voisines (ANIREF, 2011).



**Figure.VI.18.** Toutes les demandes de sites de demande d'eau (Scénario de référence).

### VI.10.1. Scénarios “Et qu'est-ce qui se passerait si ? ”

Comme expliqué précédemment, le scénario-type dans WEAP comprend trois étapes:

1. Une année des comptes courants choisie comme année de référence du modèle ;
2. Un scénario de référence établi à partir des comptes courants et utilisé pour simuler l'évolution probable du système sans modifications
3. Un ou plusieurs scénarii pour évaluer les effets des changements socio-économiques, des changements climatiques probables ... etc., pour l'année ou le projet futur (prévision).

Cependant, dans cette troisième étape, les scénarii “Et qu'est-ce qui se passerait si ? ” peuvent être construits sur les comptes courants et permettent d'explorer l'impact d'hypothèses ou de politiques alternatives sur la disponibilité et l'utilisation future de l'eau, les effets des changements politiques et/ou technologiques.

### VI.10.2. Hypothèses Clés des Scenarios “Et qu'est-ce qui se passerait si ? ”

Dans notre cas, l'année de référence est 2007 et le scénario de référence est calculé sur la période allant de 2007 à 2050. Par la suite, cinq scénarios ont été élaborés pour la période 2007-2050, sur la base des cinq hypothèses clés (Kiniouar, 2017) :

- Hypothèse clé du scénario1 : croissance démographique (3%) (ONS, 2008) ;
- Hypothèse clé du scénario2 : augmentation des terres agricoles (5%) ;
- Hypothèse clé du scénario3 : diminution de la consommation d'eau potable de base (-5%) ;
- Hypothèse clé du scénario4 : diminution de la consommation d'eau d'irrigation de base (-6%) ;
- Hypothèse clé du scénario5 : augmentation de la consommation d'eau industrielle de base (5%).



## VI.11. Résultat de simulation des cinq scénarios

### VI.11.1. Scénario 1 : Croissance démographique

En utilisant les taux de croissance démographique suivants (1,5%) (ONS, 2008), durant la période de simulation, la demande en eau totale dans le sous-bassin du Rhumel-Smendou augmentera de 51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 181,2 Mm<sup>3</sup> en 2050. Cependant, la demande en eau potable est relativement élevée par rapport à l'irrigation et à l'industrie. Et particulièrement dans les communes de Constantine, Hamma Bouziane et Mila (Fig.VI.19).

Dans la commune de Constantine, la demande en eau potable qui est relativement la plus élevée, passera de 26,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 96,9 Mm<sup>3</sup> en 2050 (Fig.VI.19).

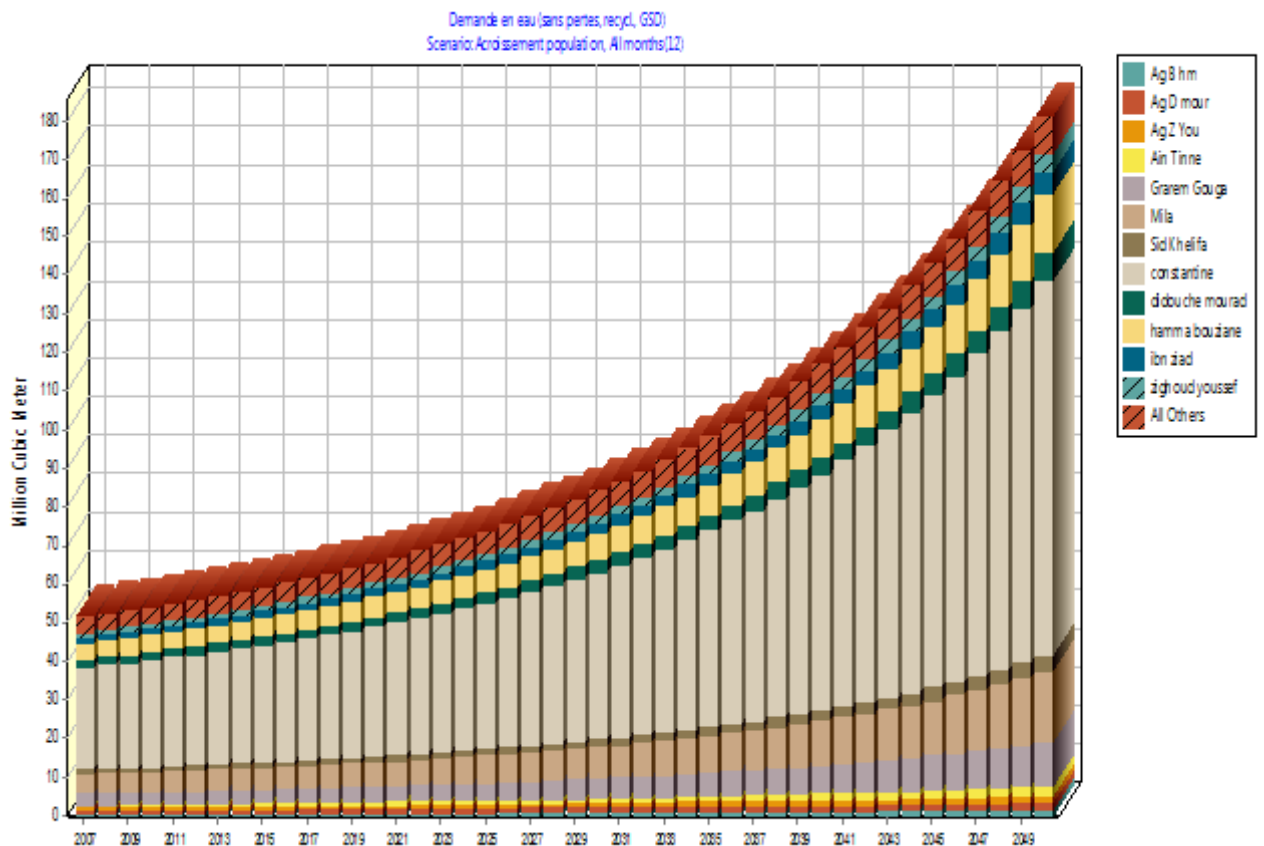
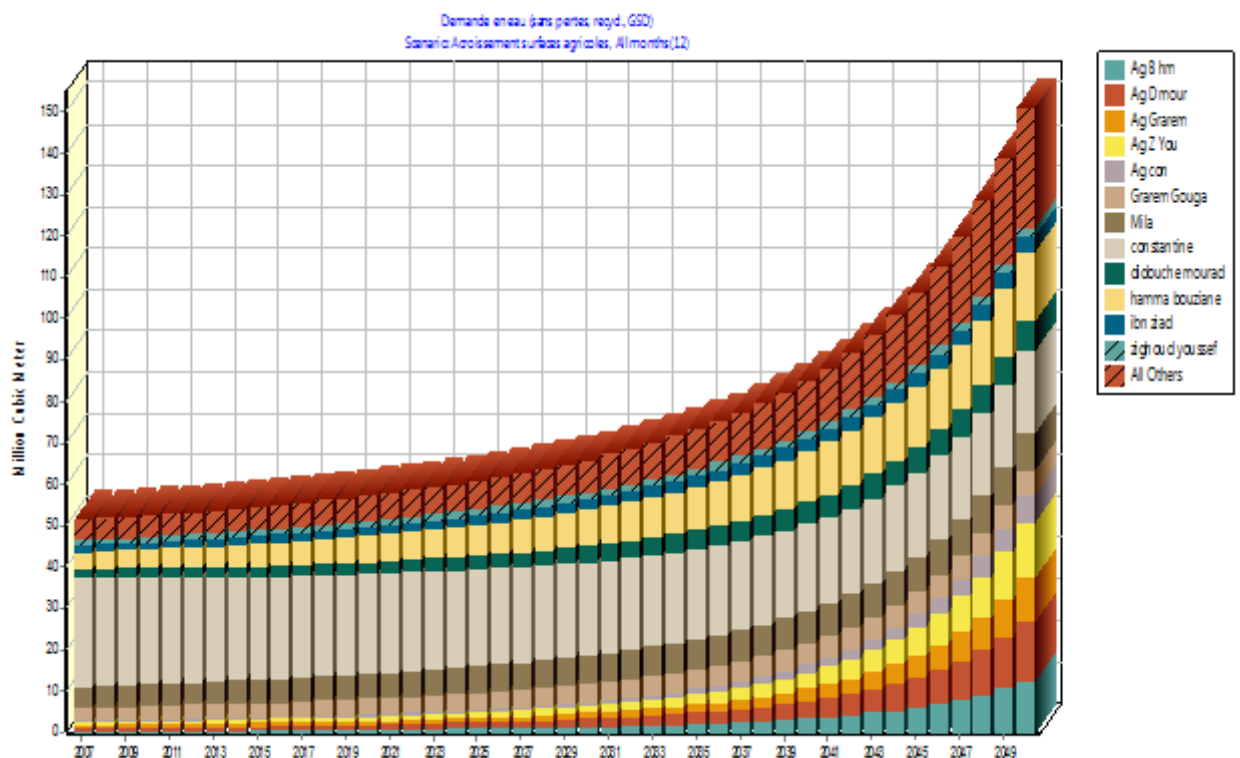


Figure.VI.19. Scenario1 : accroissement de la population.

### VI.11.2. Scénario 2 : Augmentation de la superficie des terres irriguées

Avec un taux de croissance supposé de 5% des surfaces agricoles, comme conséquence probable de mise en place de nouvelles structures de mobilisation, la demande en eau totale dans le sous-bassin versant du Rhumel-Smendou passera de 51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 151,2 Mm<sup>3</sup> en 2050 (Fig.VI.20).

Cependant, la demande en eau agricole globale passera de 4,6 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 80,6 Mm<sup>3</sup> en 2050. Dont le site agricole de Didouch Mourad qui est relativement le plus consommateur va passer le 0,8 Mm<sup>3</sup> à 14,6 Mm<sup>3</sup> EN 2050.



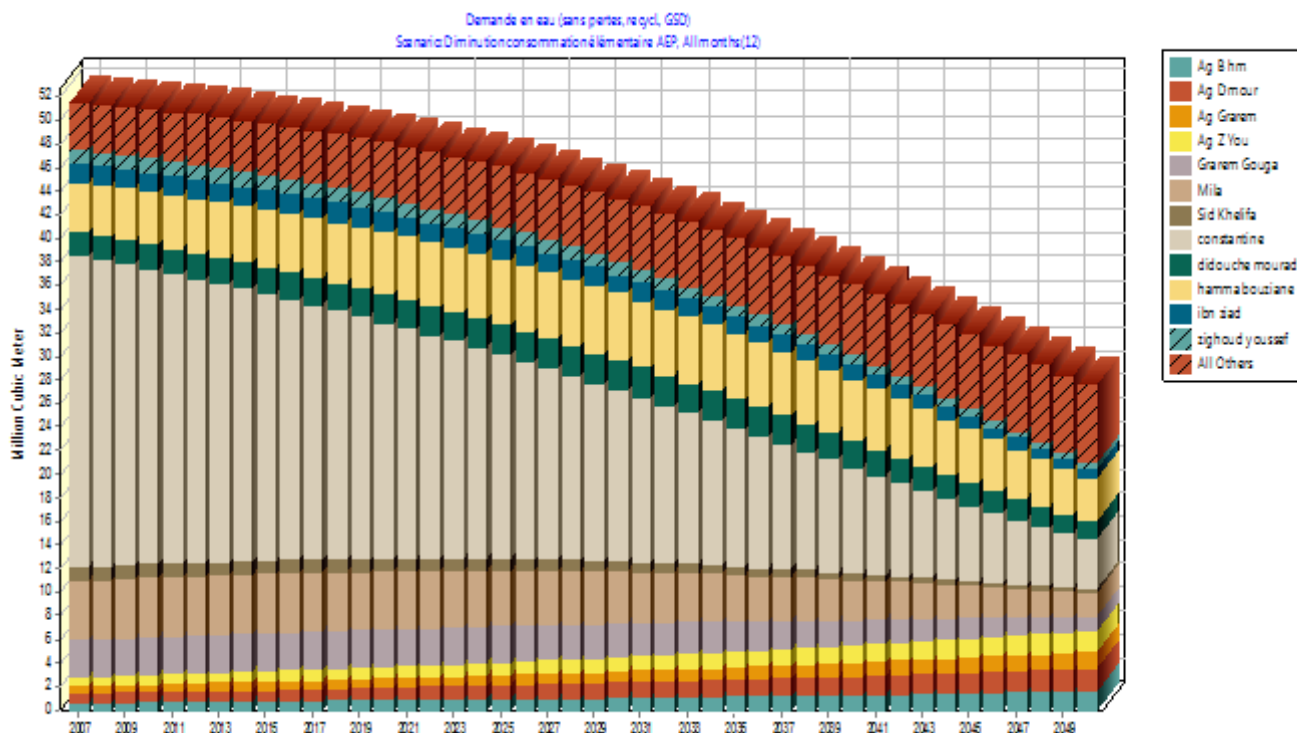
**Figure.VI.20.** Scénario 2 : Augmentation de la superficie des terres irriguées.

### VI.11.3. Scénario 3 : Diminution de la consommation de base d'eau potable

En posant la question “et qu'est-ce qui se passerait si nous avons une diminution de la consommation d'eau potable de -5% (chaque année) durant les années à venir?”

La demande en eau totale dans le sous-bassin versant de Rhumel-Smendou passera de 51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 27,6 Mm<sup>3</sup> en 2050 (Fig.VI.21). Cependant, la demande globale en eau potable (la demande en eau municipale) passera de 46 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 14,7 Mm<sup>3</sup> en 2050. Cette diminution est prévisible s'il y aura une politique d'éducation et de sensibilisation à l'utilisation rationnelle de l'eau et en luttant contre le gaspillage. En outre, le développement des technologies de l'eau en milieu urbain, la réduction des pertes et des fuites.

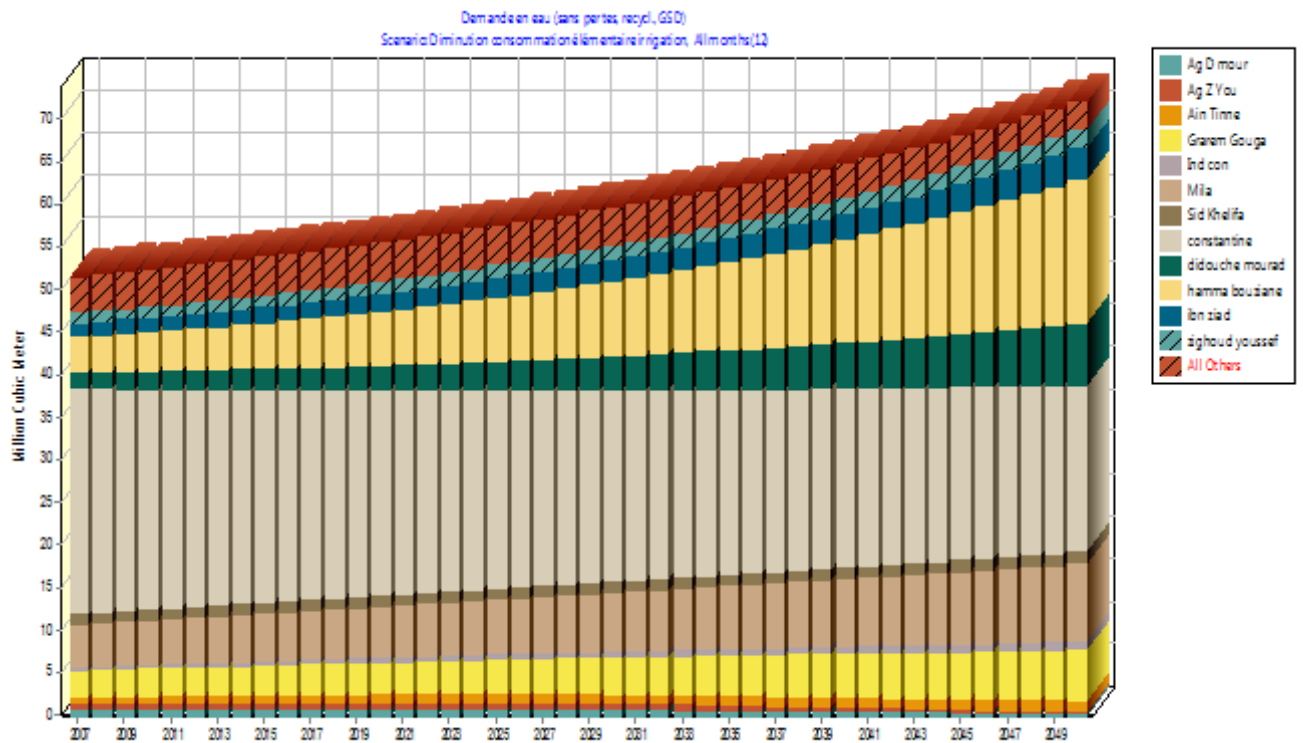
Cependant, la demande en eau potable relativement élevée dans la commune de Constantine en 2007 diminue de manière relativement significative est justifié par taux de d'accroissement démographique négatif qui est de l'ordre de  $-0,7\%$  (ONS, 2008). Ce dernier dus à la migration d'une grande partie de la population vers les communes voisines (ANIREF, 2011).



**Figure.VI.21.** Scénario 3 : Diminution de la consommation d'eau potable élémentaire

#### VI.11.4. Scénario 4 : Réduction de la consommation élémentaire en eau d'irrigation

En supposant qu'il y aura une diminution de  $-5\%$  de la consommation de base de l'eau d'irrigation, suite à une politique rationnelle concrétisée par la formation des agriculteurs aux nouvelles techniques d'irrigation économique, et à la lutte contre le gaspillage. La demande totale en eau dans le sous-bassin versant de Rhumel-Smendou passera de  $51,5 \text{ Mm}^3$  en 2007 à  $72,0 \text{ Mm}^3$  en 2050 (Fig. VI.22). Cependant, nous observons une réduction de la demande en eau d'irrigation de  $4,6 \text{ Mm}^3$  en 2007 à  $1,4 \text{ Mm}^3$  en 2050. Ainsi, nous aurons une économie de  $3,2 \text{ Mm}^3$  sur la période allant de 2007 à 2050 (Fig. VI.22).

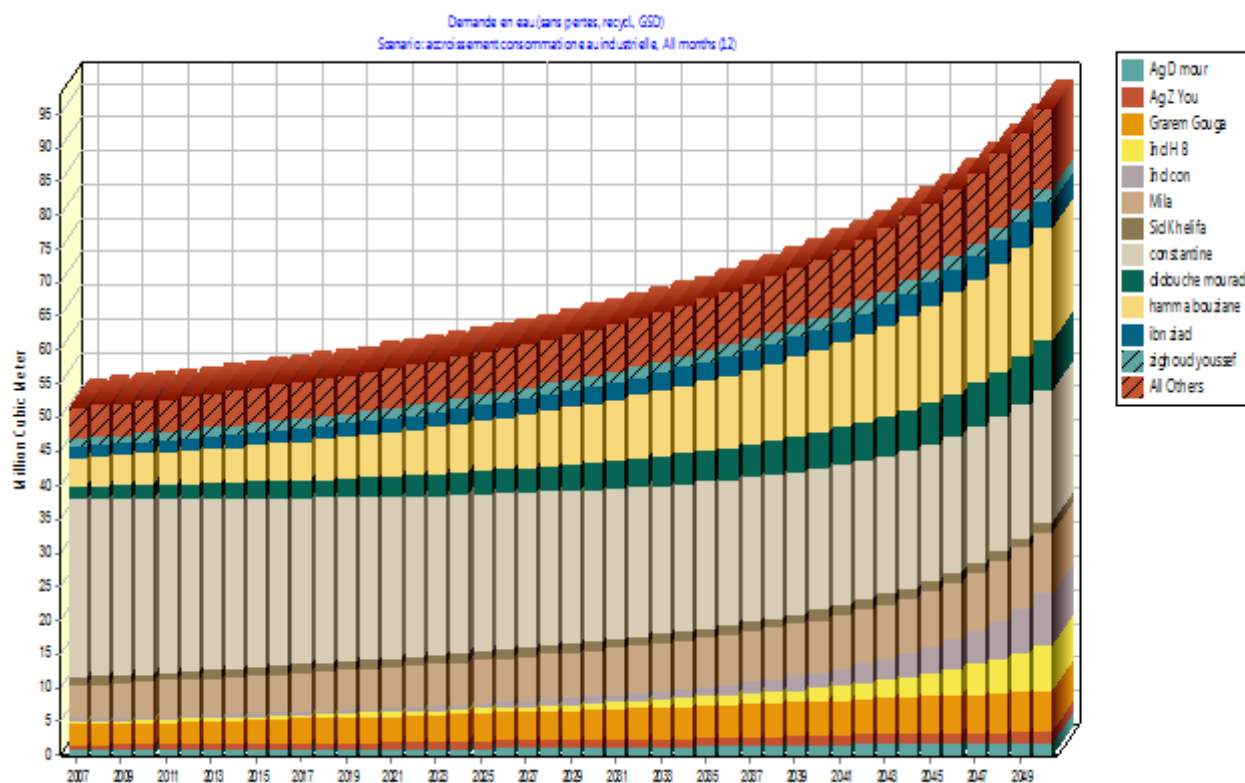


**Figure.VI.22.** Scénario 4 : Réduction de la consommation d'eau d'irrigation élémentaire

#### VI.11.5. Scénario 5 : Augmentation de la consommation d'eau pour l'industrie

Enfin, le taux de croissance socio-économique que connaît la région de Constantine, nous permet d'utiliser la question "Et qu'est-ce qui se passerait si ?" la consommation d'eau industrielle élémentaire de 5% durant les 43 années à venir.

Les résultats de simulation montrent que la demande en eau totale dans le sous-bassin du Rhumel-Smendou passera de 51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 95,6 Mm<sup>3</sup> en 2050 (Fig.VI.23). Cependant, nous observons une augmentation de la demande en eau pour l'industrie de 0,9 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 16,5 Mm<sup>3</sup> en 2050 (Fig.VI.23). Avec les deux principales communes Constantine et Hamma Bouziane les plus consommatrices en eau pour l'industrie avec des augmentations de 7,2 Mm<sup>3</sup> et 6,5 Mm<sup>3</sup>, respectivement



**Figure.VI.23.** Scénario 5 : Augmentation de la consommation d'eau pour l'industrie

## VI.12. Discussion

Le modèle développé dans cette étude est paramétré au niveau le plus bas. Tout en rassemblant les communes du sous bassin du Rhumel-Smendou qui est le sous-bassin intérieur du bassin méditerranéen de Kébir-Rhumel.

Pour cela, la demande en eau pour le scénario de référence a été paramétrée avec cinq hypothèses clés utilisées comme données de base :

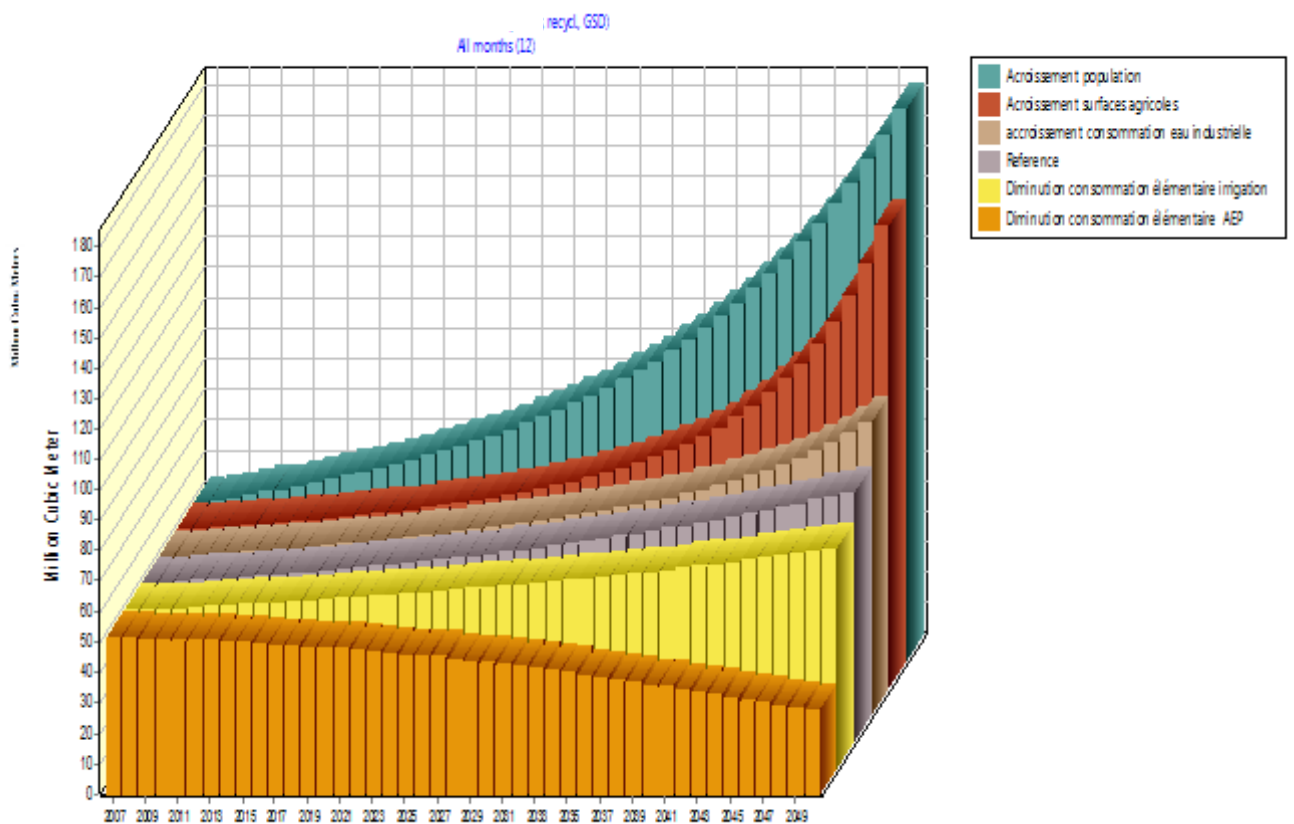
- Taux de croissance de la population de 1,5% (moyenne de tous les coefficients de croissance démographique des communes) ;
- Augmentation du taux de croissance des terres irriguées de 2% ;
- Diminution de la consommation d'eau potable de base de -1% ;
- Diminution de la consommation élémentaire des eaux d'irrigation de -1% ;
- Augmentation de la consommation de base des eaux industrielles de 2%.

La demande totale en eau dans le sous-bassin versant de Rhumel-Smendou passera de 51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 81,5 Mm<sup>3</sup> en 2050 dans le cas du scénario de référence. Cependant, la demande en eau potable passera de 46,0 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 14,7 Mm<sup>3</sup> en 2050 à elle seule, justifiée par le développement des technologies de l'eau en milieu urbain, la réduction des pertes et des fuites.

Nous observons une diminution annuelle de la demande en eau potable particulier pour la commune de Constantine avec une demande allant de 26,5 Mm<sup>3</sup> à 19,6 Mm<sup>3</sup>, à cause

du taux négatif de croissance démographique égale à  $-0,7\%$ , en raison du phénomène de migration de la population vers les communes voisines (ANIREF, 2011) ensuite une augmentation relativement élevée au Hamma Bouziane et Mila, qui ont des besoins en eau relativement élevés pouvant atteindre  $12,4 \text{ Mm}^3$  et  $4,1 \text{ Mm}^3$  justifiée par la population relativement élevée de 79952 et 69 052 habitants (ONS, 2008) avec un taux de croissance démographique de  $3,3\%$  et  $1,4\%$  respectivement.

En ce qui concerne le scenarii “Et qu'est-ce qui se passerait si la diminution de la consommation d'eau potable est de l'ordre de  $-5\%$  ? ” sur la période de simulation. Cette diminution est supposé due à l'éducation et la sensibilisation des individus, à l'utilisation rationnelle de l'eau. En outre, le développement des technologies de l'eau en milieu urbain, la réduction des pertes et des fuites.



**Figure.VI.24.** Représentation des cinq scenarii (2007-2050)

### VI.13.Conclusion

Dans cette partie opérationnelle, un modèle a été construit grâce aux données des ressources et des demandes en eau de l'ABH-CSM de 2007. Cependant, le calibrage du modèle, le choix des hypothèses clés de référence et le choix des hypothèses de chacun des 5 scénarios simulés a été réalisé afin d'aboutir au choix du meilleur scénario alternatif de gestion de l'eau sur une période de 43 années (2007-2050).

Les résultats ont montré que le cas de scénario 3 avec réduction de la consommation d'eau potable à un taux de 5% permettra d'économiser environ 31,3 Mm<sup>3</sup> en 43 ans (46 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 14,7 Mm<sup>3</sup> en 2050)

Ce scénario représente le scénario le plus intéressant pouvant réduire la consommation d'eau (et la demande en eau) sachant que l'eau potable est le secteur le plus consommateur d'eau dans la zone d'étude. Au contraire, dans le cas du scénario avec le taux de croissance démographique, la demande en eau dans le sous-bassin versant augmentera d'environ 129,7 Mm<sup>3</sup> pendant 43 ans (51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 151,2 Mm<sup>3</sup> en 2050) représente le scénario le plus défavorable.

## **Conclusion Générale**



Le sous bassin de Rhumel-Smendou couvrent une superficie de 1091 km<sup>2</sup>, fait partie du grand bassin de Kébir Rhumel.

Toutefois ce travail nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes :

La géologie du sous bassin est caractérisée par trois ensembles lithostratigraphiques :

- Un ensemble inférieur carbonaté néritique d'âge Jurassique-Crétacé;
- Un ensemble à dominante marneuse constituant la couverture du précédent d'Age allant du Sénonien supérieur au Paléocène;
- Un ensemble supérieur comprenant une série détritique hétérogène Mio-Plio-Quaternaire.

L'hydroclimatologie montre que le bassin est soumis à un climat semi-aride. Le bilan hydrique calculé par la méthode de Thornthwaite donne un taux de ruissellement de 11,78 % et une infiltration de 4,35 % de P.

Modélisation, simulation et l'évaluation future de la demande en eau de sous bassin Rhumel-Smendou, nous permet de voir que les résultats ont le cas de scénario 3 avec réduction de la consommation d'eau potable à un taux de 5% permettra d'économiser environ 31,3 Mm<sup>3</sup> en 43 ans (46 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 14,7 Mm<sup>3</sup> en 2050)

Ce scénario représente le scénario le plus intéressant pouvant réduire la consommation d'eau (et la demande en eau) sachant que l'eau potable est le secteur le plus consommateur d'eau dans la zone d'étude. Au contraire, dans le cas du scénario avec le taux de croissance démographique, la demande en eau dans le sous-bassin versant augmentera d'environ 129,7 Mm<sup>3</sup> pendant 43 ans (51,5 Mm<sup>3</sup> en 2007 à 151,2 Mm<sup>3</sup> en 2050) représente le scénario le plus défavorable.

Cette étude menée sur le sous bassin versant de Rhumel-Smendou constitue une première contribution globale vers une évaluation future de la demande en eau. Elle a été réalisée dans un contexte important pour l'Algérie qui vise à améliorer le secteur des ressources hydriques et satisfaire les besoins en eau pour les différents secteurs (AEP, irrigation et industrie). ET de proposer une stratégie de gestion intégrée des ressources en eau.

- Agence du Bassin Hydrographique(ABH) - Constantinois- Seybousse- Mellegue, 2007. "Collecte et actualisation des bases de données sur l'eau et du fonds documentaire," bassin du Kébir-Rhumel, mission I et II. Rapport provisoire.
- Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière (ANIREF), (2011). "Monographie de la wilaya de Constantine," Rapport de l'Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière
- Benabbas. C, (2006). Evolution mi-pliocène-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord orientale, Apport de photogéologie et analyse Morpho-structurale. Thèse de doctorat. Etat. Univ . Mantouri . Constantine .256 P.
- Blayac. J, (1912).Esquisse géologique du bassin de le Sybousse et quelque régions voisines. Thèse Sc.Paris . Pub. Sev . carte geol. Algérie,bull .n 6(2), 490P.
- Boutaraa. W, 2007. Gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de Boumerzoug (Kébir-Rhumel) perspective et développement durable. Mémoire de magistère. Univ. Constantine- Algérie.
- Boughdal.R et Belhai. D, (2004). Géologie détaillé de la ville de Constantine et ses alentours ,Une donnée de base pour l'étude des glissement de terrain .Bull. Serve. Géol. Nat. Voll 8n 2 , Mai2004.
- Bouillin. JP, (1986). Le bassin maghrébin une ancienne limite entre l'Europe et L'Afrique a l'Ouest des Alpes. Bull. Soc. Fr,(8), t .II, n4 ,PP. 547-558.
- Boulahdid.Z et Laaziz. O, (2005). Etude géologique de la structure de la région de Hamma Bouziane , p77 et 78. Univ . Constantine. Algérie .
- Boularak. M, (2003). Etude hydrogéologique du bassin versant de Boumerzoug. Vulnérabilité des eaux souterraines et impact de la pollution sur la région d'Ekharoube. Mémoirede magister .Université de Mentouri. Constantine.170p.
- Boulahdid.Z et Laaziz. O, (2005). étude géologique de la structure de la région de Hamma Bouziane ,P77-78 .UNIV .Constantine .Algérie.
- Coiffait. PE, (1992). Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale). Thèse Sciences .Nacy I.P.502.
- Durand Delga. M, (1969), Mise au point sur la structure de NE de Berbère Publ Serv. Carte. Géolo. Algérie, n 39, pp7-12et 129-159.
- Durand Delga . M, (1980), La Méditerranée occidentale , étapes de sa genèse et problèmes structuraux lies à celle-ci. Mem. h. Soc. Geol. Fr.n10,pp203-224.

- GADM, (2009) "Geographic database of global administrative areas," Version 1.0. 2009.
- Gastelum, J.R., Valdes, J.B. & Stewart, S., (2009). "A decision support system to improve water resources management in the Conchos Basin," *Water Resources Manage*, 23:1519-1548.
- Glangeaud. L, (1932), Etude géologie de la région littorale de la province d'Alger. Thèse, Paris bull. Serv. Carte géol. Algérie (2)n8,590 P.
- GADM, (2009) "Geographic database of global administrative areas," Version 1.0. 2009.
- GWP, (2005). *Plane de gestion intégrée des ressource en eau (Manuel de Formation et guide Opérationnel ) Cap-net , P106 .*
- Harris, S., 2007. "Beyond Building Models: Using WEAP to inform climate change adaptation policy in Guatemala," Paper submitted in partial fulfillment of the course requirements for the Master of Public Policy degree. Goldman School of Public Policy University of California, Berkeley.
- Kerdoun, Messaouda. M,(2016), Diplôme de Master, Evaluation du niveau de la pollution organique des eaux de l'oued Rhumel en amont et en aval de Constantine. PP 5-12 .
- Kerdoun. K, (1998) , Communication orale « étude et sensibilisation en vue d'une protection de l'eau Algérie – congres international de Kébir –Liban-18-20 Juin1998.
- Kiniouar. H, Hani. A & Kapelan. Z, (2017) "Water Demand Assessment of the Upper Semi-arid Sub-catchment of a Mediterranean Basin," *Energy Procedia* 119 (2017) 870–882.
- Lakach. H, Mebarki.A et Nouaceur.Z , «La variabilité spatio-temporelle des apports du bassin Kébir –Rhumel a l'amont du barrage Beni Haroun» , Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, Université Mentouri Constantine, Algérie.
- Lévite, H., Sally, H. & Cour, J., (2003). "Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model," *Physics and Chemistry of the Earth*. 28: 779–786.
- Mebarki ,A .2005 , Hydrologie des bassins versants de l'Est algérien. Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat. Université de Mentouri. Constantine .P 360 .
- Mebarki, A. 2005 , Hydrologie des bassins versants de l'Est algérien. Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat. Université de Mentouri. Constantine. 260 p.
- Mebarki .A.(1982): Le bassin Kébir Rhumel ,Algérie hydrologie de surface et aménagement des réseaux en beau .Univ .Nancy II.

- Mebarki .A, et BENABBAS C, et GRECU. (2008) Le système «Béni-Haroun » (Oued Kébir-Rhumel, Algérie), aménagements hydrauliques et contraintes morpho-géologiques.
- Office National de Statistique, ONS, (2008). “Data from the General Census of Population and Housing,” National Statistics Office.
- Organisations national de météo ,ONS,(2017) .’National weather organization.
- Plan Bleu, (2010). “Gestion des ressources en eau: les limites d’une politique de l’offre,” Report of: les Notes d’Analyse du CIHEAM, No. 58, Plan Bleu,
- Plan National de l’Eau, (2010). “Implementation of the study of updating the national water plan. Mission 2: resources and demands. Component 4: domestic water demand. Volume 1. Report of the Algerian National Water Plan.
- Rakotondrabe .F,(2007),Diplôme d’études approfondies «Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava(Sud-ouest de Madagascar», Université d’Antananarivo école supérieure polytechnique d’Antananarivo pp17 .22.
- RGBH. (2008), office nationale des statistique 2008 résultats de recensement générale de la population et de l’habitat (RGBH et couverture cartographie) par district ,(Wilaya de Constantine).
- SEI, (2008). “WEAP: système d’évaluation et de planification des ressources en eau,” Tutorial: a stand-alone modules collection to help learn WEAP software. Tellus Institute, Boston
- TAC-GWP(2000), La gestion intégrée des ressource en eau tac bakground papers no.4.
- Villa.J.M ,(1977), Carte de l’Algérie au 1/200 000 feuille de Constantine avec notices explicative. Alger, Serve, carte géol. Algérie,Alger.
- Villa.J.M, (1980) , La chaine alpine d’Algérie orientale et des confins algéro-tinisiens .Thèse Sc. Univ.Paris VI ,3 vol ,663P .
- Voute,C, (1967) , Essai de synthèse de l’histoire géologique des environ de Ain Fakroune , Ain Babouche et des régions limitrophe. Publ. Serv. Carte géol. Algérie n36 ,255P.
- Voinov, A.A. (2013). “Software,” Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier Inc. 2013.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. & Huber-Lee, A. (2005). “WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 1: Model Characteristic,” Water. Int. Vol. 30, No 4, 487–500.
- Yates, D., Purkey, D., Galbraith, H., Huber-Lee, A. & Sieber, J., (2005). “WEAP a demand, priority and preference driven water planning model: Part 2,

Evaluating freshwater,” Ecosyst. Services. Water. Int. Vol. 30, No. 4. pp. 501-512.

**Web site**

[weap21.org](http://weap21.org) (Water Evaluation and planning System)

[agire-.org](http://agire-.org)

[planbleu.org](http://planbleu.org) (Environnement et développement en Méditerranée)

[google.dz/image](http://google.dz/image).

.

Mois	Sep	Oct	Nou	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout
P moy mensuelle (2008-2017)	31,02	35,79	45,17	35,85	55,51	68,02	64,94	45,23	35,18	11,63	3,39	26,55

Précipitation moyennes mensuelles (station Ain el Bey 2008-2017).

Données moyennes saisonnières des précipitations station Ain El Bey (2008-2017).

Mois Période	Pluviométrie moyenne	Automne	Hiver	Printemps	Eté
2008-2017	P.M.S (mm)	37,32	53,12	48,45	13,85
	P.M.S (%)	24,43	34,77	31,71	9,07

Données moyennes annuelles des précipitations station Ain El Bey (2008-2017).

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
P moy annuelles (2008-2017)	28,99	52,3	40,88	47,65	34,63	40,45	37,0	49,36	25,12	25,49

températures moyennes mensuelles Station d'Ain El Bey (2008-2017).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Moy
T moy mensuelle (°C)	21,51	17,36	11,6	7,89	7,09	7,31	10,06	13,51	17,54	22,56	26,78	26,13	15,77
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			

Répartition des précipitations et des températures moyennes mensuelles. Durant la période (2008-2017) (Station d'Ain El Bey).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout
Précipitation (mm)	31,02	35,79	45,17	35,85	55,51	68,02	64,94	45,23	35,18	11,63	3,39	26,55
Température (C°)	21,51	17,36	11,6	7,89	7,09	7,31	10,06	13,51	17,54	22,56	26,78	26,13

répartition de population par commune (RGPH, 2008).

Communes	Pop2008	Superficie en km <sup>2</sup>	Densité Hab/Km <sup>2</sup>
Zighod Youssef	35248	255,95	137,71
HAMMA bouzian	79952	71,18	1123,24
Iben Ziad	18861	125,1	125,1
Messoud Boujeriou	9050	106,6	84,9
Didouch Mourad	44951	115,7	388,51
costantine	448374	183	2450,13

Les barrages dans le bassin Kébir-Rhumel (ABH, 2004)

Sous bassins	Dénomination	Commune	Wilaya	Capacité (hm3)
10-03	Hammam Grouz	Oued Athmania	43	45
10-05	Berla	Ain Smara	25	3.2
10-07	Beni-Haroun	Grarem Gouga	43	795

répartition de population et l'AEP par commune (ABH 2003)

Communes	Pop2003	Superficie en km <sup>2</sup>	Densité Hab/Km <sup>2</sup>	AEP m/j
Ain Tinne	6151	38,22	160,93	327,417
Mila	61937	129,89	476,84	224,011
Zighoud Youssef	29417	255,95	114,93	432,87
HAMMA Bouziane	59903	71,18	841,57	4328,76
Ibn Ziad	12748	125,1	101,9	172,6
Messaoud Boudjeriou	4452	106,6	41,76	356,16
Didouche Mourad	1483	115,7	12,81	230,13
Constantine	506054	183	2765,32	26849,31

Assainissement des eaux usées urbaines dans la région de Constantine (ABH, 1999)

Sous bassin	Agglomération	Wilaya	Linéaire (ml)	Lieu de rejet
10 05	Constantine	Constantine	23400	STEP vers O. Rhumel
10 05	El Khroub	Constantine	59000	O. Bumerzoug
10 06	Mila	Mila	42300	O. Rhumel
10 06	Ain Tinne	Mila	16300	O. Ktone
10 06	Grarem Gouga	Mila	22135	O. Rhumel
10 06	Zighoud Youcef	Constantine	31000	O. Smendou
10 06	H. Bouziane	Constantine	16000	O. Rhumel
10 06	Beni H'midène	Constantine	12000	O. Smendou



Présentation générale des surfaces agricoles par commune.

Commune	Superficie agricole totale(Ha)	Superficie agricole utile totale(Ha)	S.A.U irriguée(Ha)
Constantine	8946	7999	140
Hamma Bouziane	6352	5200	910
Zighoud Youcef	19517	11707	67
Didouche Mourad	9879	7997	123
Beni Hamidène	11560	3809	150
Messaoud Boudjeriou	10326	2736	179
Ibn Ziad	14143	9359	95
Total	151421	100826	2282