

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef

Faculté de Génie Civile et de l'Architecture

Département : Hydraulique



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT

Filière : Construction Hydraulique

Spécialité : Construction Hydraulique

Par

MANSOURI SARRA

Thème :

ANALYSE ET PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU INTER-REGION EN UTILISANT LE MODELE WEAP. SEYBOUSE(ANNABA) ET COTIERS CONSTANTINOIS EST(EL-TARF)

Soutenue le 21 /03 /2018, devant le jury composé de :

<u>Nom et Prénom</u>	<u>Grade</u>	<u>Université</u>	<u>Qualité</u>
Loukarfi Larbi	Professeur	UHB Chlef	Président
Ouerdachi Lahbassi	Professeur	UBM Annaba	Rapporteur
Remaoun Mohamed	Professeur	UHB Chlef	Co-Rapporteur
Bouthiba Abdelkader	Professeur	UHB Chlef	Examineur
Djeddou Messaoud	MCA	ULBM Oum El Bouaghi	Examineur
Saaed Hamoudi Abdelamir	Professeur	UHB Chlef	Examineur

A mes chers parents

A mon Mari et mes

filles Shahed et Jana

A mes frères et mes sœurs

A toute ma famille

Remerciements

A la fin de cet humble travail, je voudrais exprimer ma gratitude et ma reconnaissance au Professeur Ouerdachi Lahbassi de l'Université de Badji Mokhtar Annaba, d'avoir accepté d'encadrer et diriger cette étude, pour ses nombreux conseils, sa précieuse aide et son soutien tout au long de mon travail.

En particulier, je voudrais remercier le professeur Remaoun Mohamed de Hassiba Benbouali de Chlef d'avoir accepté de codiriger cette thèse et de m'avoir prêté aide, conseils et orientations pendant la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements s'adressent à toute personne ayant œuvré de près ou de loin à la concrétisation de ce travail, par un conseil, un encouragement ou toute forme de contribution, notamment Mr Boutaghane Hamouda, Mr Hadjaji Lakhdar et Mr Mihoub.

Je termine en remerciant chaleureusement mes chères parents, mes frères et mes sœurs, mon mari Ahmed, mes filles Shahed et Jana, tonton Rezak et tous les membres de ma famille qui je dédie ma thèse.

Mansouri Sarra

ملخص

قد شهدت غالبية المناطق الشمالية الشرقية من الجزائر تغيرات عميقة في السنوات الأخيرة بسبب النمو السكاني والتنمية الصناعية المكثفة وتلوث الموارد المائية وزيادة الطلب على احتياجات المياه وعدم اتساق الإطار التنظيمي لإدارة المياه ... تواجه اليوم إدارة المياه في أقصى شمال شرق الجزائر تحديا كبيرا لتتميتها ، في وجود قيود مثل ضعف إمكانية الحصول على مياه الشرب المأمونة وخدمات الصرف الصحي، وتلوث المياه، وسوء الصرف الصحي، والاستغلال المفرط للموارد المائية ... كلها تهديدات خطيرة لنقص المياه.

وقد تم بحث العديد من الدراسات على نوعية موارد المياه السطحية والجوفية في المنطقة (عناية، الطارف)، تشخيص تلوث الأودية (سيبوس، المفرغ، الكبير الشرقية) وتحديد الأسباب الرئيسية ويعرض النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها من أجل التمكن من اقتراح تدابير عاجلة من أجل وقف تدهور نوعية المحيط ، والبحوث الأخرى توقع الحاجة إلى تطوير إدارة متكاملة للموارد المائية خاصة منطقة عناية. ولا واحدة منها تغطي جميع الاستخدامات ذات الصلة بالمياه في مناطق مستجمعات المياه ، تقدير الاحتياجات وأثار الاستخدامات الرئيسية على الموارد المائية، تسليط الضوء على إدارة المياه المنقولة على نطاق منطقة ما بين عناية-الطارف.

سنحاول الإجابة على هذه المشكلة باستخدام نموذج (WEAP)

هذه الدراسة هي أول محاولة لتقدير الطلب على المياه وتحليل الاستخدامات المتعددة والمنافسة للنظام المائي في حوض وادي سيبوس ومستجمعات المياه في القسطنطينية الشرقية، مقارنة مع تقديرات تخزين المياه المقترحة. تم تطبيق النموذج وفقا لسيناريوهات مختلفة تعكس ظروف العرض والطلب بطريقة أفضل وأسوأ، ليس فقط لتقييم العجز في الطلب على المياه، ولكن أيضا تساعد المخططين على بدائل الإدارة الممكنة. وأظهرت محاكاة النموذج أن منطقة الدراسة حساسة لنقص كبير في المياه بحلول عام 2050، فمن الممكن ملاحظة تحسن عند دمج استراتيجية إدارة أخرى لأفضل نظام استغلال المياه.

مفتاح الكلمات: WEAP، الطلب على المياه، تحليل السيناريو، التخطيط، ما بين المناطق

Abstract :

The vast majority of the northeastern region of Algeria has undergone profound changes in recent years due to population growth, intense industrial development, pollution of water resources, increasing demand for water needs, inconsistent regulatory framework of water management, ... Water management in the far northeastern region of Algeria is an acute challenge and represents a major challenge for their development today, with constraints such as poor access to safe drinking water and sanitation. sanitation, water pollution, poor sanitation, overexploitation of water resources, ... are all serious threats to water shortages.

Several studies have been carried out on the quality of the surface and underground water resources of the region (Annaba-El Taref), diagnosis on wadi pollution (Seybouse, Mafragh, Kebir East) and the determination of these main causes and to expose the main results obtained in order to be able to propose urgent measures in order to stop the deterioration of the quality of the environment, other research imply the need to develop an integrated management of water resources, in this case the Annaba region. Covers all uses related to water on watersheds, the quantification of needs and the impacts of the main uses on water resources, and highlighting the water management transposed on the water scale. inter-region Annaba-El Tarf.

We will try to answer this problem by using the model (WEAP).

This study is the first-ever attempt to estimate water demand and analyzes the multiple and competing uses of the hydrosystem in the Oued Seybouse Basin and the East Constantinian Watershed, compared with proposed water. The model has been applied according to, different scenarios that reflect better and worse conditions of supply and demand, not only to assessed the water demand deficit, but also help the planner to possible management alternatives. The simulation of the model showed that the study area is sensitive to a great water shortage by 2050, it is possible to observe an improvement when integrating another management strategy for a better water system exploitation.

Keywords : WEAP, Water Demand, Scenario Analysis, Planning, Inter-Region.

Résumé :

La zone du Nord-Est Algérien dans sa grande majorité a connu au cours de ces dernières années de profonds changements générés par une croissance démographique, développement industriel intense, pollution des ressources en eau, demande croissante des besoins en eau, incohérence du cadre réglementaire de la gestion des eaux, ... La gestion de l'eau dans l'extrême Nord-Est Algérien se pose avec acuité et représente aujourd'hui un défi majeur pour leur développement, les contraintes telles que les faibles accès à l'eau potable et à l'assainissement, la pollution de l'eau, l'assainissement défectueux, la surexploitation des ressources en eau, constituent autant de menaces sérieuses à des pénuries d'eau.

Plusieurs études ont été recherchées sur la qualité des ressources en eau superficielles et souterraines de la région (Annaba-El Taref), des diagnostics sur la pollution des oueds (Seybouse, la Mafragh, Kébir Est) et la détermination de ces principales causes et exposer les principaux résultats obtenus pour pouvoir proposer des mesures urgentes afin de stopper la dégradation de la qualité du milieu, d'autres recherches impliquent la nécessité d'élaborer une gestion intégrée des ressources en eau en l'occurrence la région d'Annaba. Aucune ne porte sur l'ensemble des usages liés à l'eau sur les bassins versant, la quantification des besoins et les impacts des principaux usages sur les ressources en eau, et mettre en avant la gestion de l'eau transposés à l'échelle de l'inter-région Annaba-El Tarf.

Nous tenterons de répondre à cette problématique par l'utilisation du modèle (WEAP).

Cette étude est la toute première tentative d'estimation de la demande d'eau et analyse des utilisations multiples et concurrentes de l'hydrosystème dans le bassin d'Oued Seybouse et le bassin versant côtier constantinois Est, de comparaison avec les estimations de stockage d'eau proposées. Le modèle a été appliqué selon, différents scénarii qui reflètent des conditions meilleures et pires de l'offre et de la demande, non seulement pour évaluer le déficit de la demande en eau, mais aussi aider les planificateurs à des alternatives possibles de gestion. La simulation du modèle a montré que la zone d'étude est sensible à une grande pénurie d'eau d'ici 2050, il est possible d'observer une amélioration lors de l'intégration d'autre stratégie de gestion pour un meilleur système d'exploitation.

Mots-clés : WEAP, Demande en eau, Analyse des scénarios, planification, inter-région.

Table de matières

- **Remerciement**
- ملخص
- **Abstract**
- **Résumé**
- **Table de matières**
- **Liste des Figures**
- **Liste des Tableaux**

	Page
Introduction Générale	1
Chapitre I : Concepts clés de la gestion intégrée des ressources en eau	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Définitions et concepts.....	5
I.2.1. Notions sur la gestion intégrée de l'eau par bassin versant.....	5
I.2.2. Définition d'un bassin versant.....	5
I.2.3. Gestion intégrée de l'eau par bassin versant.....	6
I.2.4. Éléments clés pour la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant.....	6
I.2.5. Rôles et types d'organismes de bassin :	7
I.3. Facteurs de succès de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant.....	9
I.4. Difficultés de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant	10
I.5. Etablir une vision stratégique ou planification stratégique :	10
I.5.1. Principes généraux de la planification.....	12
I.5.2. Planification de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant.....	12
I.5.3. Étapes de la planification.....	13
I.6. Outils de gestion des ressources en eau et d'aide à la prise de décisions	16
I.7. Présentation du logiciel WEAP.....	18
I.7.1. Historique	19
I.7.2. Structure du programme.....	19
I.7.3. Fonctionnement du logiciel	22
I.7.4. Données nécessaires.....	23
I.7.5. Etude de l'offre et de la demande en eau.....	23
I.7.6. Etude de la qualité de l'eau.....	24
I.7.7. Etude hydrologique.....	24
I.7.8. Etudes hydroélectriques.....	24

I. 7.9. Modélisation des eaux souterraines	24
I.7. Conclusion	25

Chapitre II : Cadre géographique régional de la région d'étude

II.1. Introduction	27
II.2. Aperçu Socio-économique	28
II.2.1. Principales agglomérations urbaines de la région d'étude	28
II.2.2. Agriculture	29
II.2.3. Tourisme.....	29
II.2.4. Industrie.....	29
II.3. Aspect géomorphologique.....	30
II.3.1. Principales formes.....	30
II.3.1.1. Les Plaines Littorales.....	30
II.3.1.2. Le Cordon Dunaire.....	31
II.3.1.3. Les montagnes	31
II.3.2. Bassins versants	31
II.4. Mise en place du réseau hydrographique.....	33
II.5. Conclusion	34

Chapitre III : Aspect géologique et hydrogéologique de la région d'étude

III.1. Introduction	36
III.2. Les Formations Post-Nappes.....	36
III.2.1. La Plaine d'Annaba/Boutheldja.....	36
III.2.1.1. Remplissage Plio-Quaternaire.....	37
III.2.1.2. Remplissage Quaternaire.....	38
III.2.2. La formation des dunes.....	39
III.2.3. Les Eboulis de Pente.....	39
III.3. Les formations Anté-nappes Ensemble des unités allochtones (flyschs et Nappes)	40
III.3.1. Nappe numidienne (Argiles sous-numidiennes)	40
III.3.2. Les Flyschs Massyliens	40
III.3. Le Tellien.....	41
III.4. Paléographie.....	41
III.5. Les Caractéristiques Hydro-Géologiques.....	41
III.5.1. Les Différentes Nappes du Système Aquifère de la zone d'étude	42
III.6. Conclusion.....	48

Chapitre IV : Hydroclimatologie

IV.1. Introduction :	50
IV.2. Source des données et répartition des stations.....	50
IV.3. Facteurs climatiques.....	51
IV.3.1. Précipitations.....	51
IV.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	52
IV.3.1.2. Précipitations inter-annuelles	53
IV.3.1.3. Répartition saisonnière des précipitations:	57
IV.3.2. La température	58
IV.3.2.1. Les Diagrammes Ombrothermiques.....	60
IV.3.3. La vitesse du Vent.....	61
IV.3.4. L'humidité	62
IV.4. Bilan Hydrique.....	62
IV.4.1. Calcul du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.....	62
IV.4.2. Interprétation du Bilan hydrique	64
IV.5. Conclusion.....	67

Chapitre V : Hydrologie et ressources en eau de la région d'étude

V.1 Introduction.	69
V.2. Hydrologie du sous bassin versant Seybouse et la Mafragh.....	69
V.2.1. Le ruissellement.	72
V.2.2. Estimation de l'infiltration	73
V.2.3. Coefficient moyen des débits	73
V.3. Evaluation des Ressources en Eau	76
V.3.1. Ressources en eaux superficielles	76
V.3.2. Ressources en eaux souterraines	78
V.4. Conclusion	81

Chapitre VI : Analyse de l'hydro-système actuel de l'inter-région Annaba-El Tarf

VI.1 Introduction	83
VI.2. L'approvisionnement d'eau de l'inter-région Annaba-El Tarf	83
VI.3. Traitement des données par WEAP	86
VI.3.1. Modélisation de la basse Seybouse par WEAP	87
VI.3.2. Analyse situationnelle : SCENARIO DE REFERENCE	88
VI.3.3. Des solutions pour assurer l'approvisionnement en eau	90
VI.3.3.1. Scenario de la réutilisation d'eau (REU)	91

VI.3.3.2. Scenario de la réutilisation d'eau industrielle (REUI)	92
VI.4. Modélisation de l'inter-région Annaba-El Tarf par WEAP.....	93
VI.4.1. Scenario de référence	94
VI.4.2. Scenario fort accroissement de la population.....	98
VI.4.3. Scenario de changement climatique à sec	100
VI.5. Conclusion	102

Chapitre VII : Planification à court et à long terme

VII.1. Introduction :	104
VII.2. Scenario 1 : Recyclage et réutilisation des eaux usées épurées (REUE)	104
VII.3. Scenario 2 : Réutilisation de l'eau industriel.....	108
VII.4. Scenario 3 : Nouvelle ressources en eau, petit barrage, retenue (RNM)	109
VII.5. Scenario 4 : Nouvelle ressources en eau station de dessalement d'eau de mer (Dessal)	111
VII.6. Conclusion	114

Conclusion générale	115
----------------------------------	-----

Recommandations

Références bibliographique

Liste des figures

	Page
Figure I.1 : Illustration du caractère ouvert du bassin versant topographique	6
Figure I.2 : Schéma du cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant.....	13
Figure I.3 : Cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant montrant les actions préalables à l'élaboration du plan directeur de l'eau et les étapes nécessitant une consultation publique.	14
Figure I.4 : Les cinq présentations principales du WEAP.....	19
Figure I.5 : Fenêtre cartographie WEAP.....	20
Figure I.6 : Fenêtre base de données.....	21
Figure I.7 : Résultat en graphe.....	21
Figure I.8 : Résultat sur carte	22
Figure II.1 : Carte situation géographique des bassins versant de l'inter-région Annaba El Tarf (basse Seybouse – La Mafragh).....	28
Figure II.2 : Les sous-bassins hydrographiques de la zone d'étude, selon le découpage de l'A.N.R.H.....	32
Figure III.1 : Carte géologique de l'extrême Est Algérien.....	38
Figure III.2 : Extension des différents aquifères dans Annaba-el Tarf (In HANI 2003).	42
Figure III.3 : coupe hydrogéologique dans le massif dunaire de Boutheldja (Affoun S. 2006).....	43
Figure III.4 : coupe hydrogéologique de la plaine de Boutheldja (Affoun S. 2006).....	44
Figure III.5 : Coupe hydrogéologique de la plaine d'El Tarf (Affoun S. 2006).....	45
Figure III.6 : coupe schématique du système aquifère de la région d'Annaba	46
Figure III.7 : Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse (in Debieche 2002).....	47
Figure IV.1 : Réseau hydrographique, situation géographique des stations pluviométriques et hydrométriques de la zone d'étude.....	50
Figure IV.2 : Précipitations moyennes mensuelles de différentes stations dans la zone d'étude.....	53
Figure IV.3 : Variation interannuelle des précipitations dans la zone d'étude.....	54
Figure IV.4 : Variations mensuelles du coefficient de variations.....	56
Figure IV.5 : Variations des coefficients pluviométriques pour les différentes stations.....	57
Figure IV.6 : Répartition saisonnières des précipitations de la zone d'étude	58
Figure IV.7 : Variation mensuelles du régime thermique, station les Salines période 1971/72 à 2011/12	59
Figure IV.8 : Variation mensuelles du régime thermique, station el kala période 1972/73 à 2003/04.....	59
Figure IV.9 : Diagramme ombrothermiques, station Les Salines période 1971/72 à 2011/12.....	60
Figure IV.10 : Diagramme ombrothermiques, station El Kala 1972/73 à 2003/04.....	61
Figure IV.11 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station de pont Bouchet (1975-2010).....	65
Figure IV.12 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station des Salines (1969-2012).....	65
Figure IV.13 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station de Bouteldja (1968-2012).....	66
Figure V.1 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Seybouse station Mirbek (1981/82 – 1996/97).....	70
Figure V.2 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Ressoul station Ain Berda (1991/92 – 2006/07).....	70
Figure V.3 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Kébir-Est station Ain Assel (El Tarf) (1980/81-2003/04).....	71
Figure V.4 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Bounamoussa Station: Cheffia Barrage (1976/77-2002/03)	72
Figure V.5 : Représentation du coefficient mensuel de débits station Mirbek et Ain Berda (Seybouse Annaba)..	75
Figure V.6 : Représentation du coefficient mensuel de débits station cheffia Barrage et Ain Assel (côtier constantinois Est El Tarf).....	75
Figure V.7 : Ouvrage de mobilisation des ressources en eau superficielles de l'inter-région Annaba-ElTarf....	77

Figure V.8 : Ouvrage de mobilisation des ressources en eau souterraines de l'inter-région Annaba-ElTarf.....	78
Figure VI.1 : Présentation cartographique de sous bassin versant de la basse Seybouse par WEAP21	87
Figure VI.2 : Demande en eau mensuelle -scénario Référence-.....	88
Figure VI.3 : Demande non satisfaite-scénario Référence-.....	88
Figure VI.4 : Recouvrement de la demande en eau des différents sites de demande - scénario Référence-.....	89
Figure VI.5 : Demande non satisfaite mensuelle des deux scénarios Référence et Réutilisation de l'eau.....	91
Figure VI.6 : comparaison de la demande non satisfaite des deux scénarios Référence et Réutilisation de l'eau Industrielle.....	92
Figure VI.7 : Présentation cartographique finale de la zone d'étude par le modèle WEAP21	93
Figure VI.8 : La demande en eau globale de l'année de référence 2010.....	94
Figure VI.9 : La demande en eau par site de demande de l'année de référence 2010.....	95
Figure VI.10 : La demande non satisfaite globale de l'année de référence 2010.....	95
Figure VI.11 : La demande non satisfaite par site de demande de l'année de référence 2010.....	96
Figure VI.12 : La demande non satisfaite par mois de l'année de référence 2010.....	96
Figure VI.13 : Périmètres d'irrigation de la zone d'étude.....	97
Figure VI.14 : recouvrement de certains sites de demande de l'année de référence 2010	98
Figure VI.15 : recouvrement de tous les sites de demande de l'année de référence 2010	98
Figure VI.16 : demande en eau de la zone d'étude pour les deux taux d'accroissement (1,8% et 3%).....	99
Figure VI.17 : demande non satisfaite de la zone d'étude pour les deux taux d'accroissement (1,8% et 3%) ...	99
Figure VI.18 : demande non satisfaite mensuelle des deux scénarios Référence et CCS.....	101
Figure VII.1 : demande non satisfaite des deux scénarios Référence et REU.....	106
Figure VII.2 : Demande non satisfaite mensuelle des deux scénarios Référence et REUE.....	106
Figure VII.3 : Exigence de distribution des deux scénarios Référence et REUI.....	108
Figure VII.4 : Demande non satisfaite mensuelle des deux scénarios Référence et REUE.....	109
Figure VII.5 : Demande non satisfaite des deux scénarios Référence et NRM.....	110
Figure VII.6 : Demande non satisfaite des site de demande (2010-2050) scénarios Référence et Dessal	112
Figure VII.7 : Demande non satisfaite global (2010-2050) scénarios Référence et Dessal	112
Figure VII.8 : Demande non satisfaite des deux scénarios Dessal (irrité de scénario NRM) et Référence.....	113

Liste des tableaux

	Page
Tableau II.1 : la situation de 9 agglomérations du littoral d'Annaba-El Tarf qui accueillent des visiteurs	29
Tableau II.2 : Noms, codes A.N.R.H. et superficies des bassins et sous-bassins hydrographiques SEYBOUSE et COTIERS CONSTANTINOIS EST	32
Tableau IV.1 : coordonnées géographique des différentes stations météorologiques	51
Tableau IV.2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) des stations	52
Tableau IV.3 : Variations mensuelles et annuelles du coefficient de variation	55
Tableau IV.4 : Répartitions saisonnières des précipitations par stations et indice de PEGUY	58
Tableau IV.5 : Température moyenne mensuelles à la station Les Salines (1971 - 2012) et la station d'el kala (1972 – 2004)	60
Tableau IV.6 : Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station Les Salines (1975 – 2006) (ZAH.F 2014)	61
Tableau IV.7 : Variation des moyennes mensuelles de la vitesse maximale instantanée du vent à la station de Annaba les salines période: (1971/72-2002/03) (Affoun.S)	61
Tableau IV.8 : Humidité relative moyenne mensuelle à la station les salines (1975-2006) supplémentaire (source PNE 2010)	62
Tableau IV.9 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station des Salines (1969-2012)	63
Tableau IV.10 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Bouteldja(1968-2012)	63
Tableau IV.11 Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite. Station de pont Bouchet(1968-2012)	64
Tableau V.1 : Moyennes mensuelles interannuelles des débits en m ³ /s	70
Tableau V.2 : La variation mensuelle du débit de l'oued Kebir Est à la station de Ain El Assel (période 1980-2004)	71
Tableau V.3 : Paramètres du bilan hydrique	73
Tableau V.4 : Coefficients moyens de débit de l'oued Seybouse	74
Tableau V.5 : Mobilisation de la ressource superficielle à moyen et long terme	77
Tableau V.6 : Débits exploitables des différentes nappes souterraines dans le bassin versant de la Mafragh et la plaine d'Annaba	79
Tableau V.7 : Aquifères existants et leurs réserves renouvelables dans le bassin versant de la Mafragh et la plaine d'Annaba	80
Tableau VI.1 Dose d'irrigation par type de culture	86

Introduction Générale

L'eau est considérée comme un facteur primordial du développement, sa rareté suscite des inquiétudes à toutes les échelles. En Algérie, comme ailleurs dans le monde, et en particulier dans les pays à faible ressource en eau, la gestion de l'eau se pose avec acuité et représente aujourd'hui un défi majeur pour leur développement.

L'UNESCO dans son rapport mondial de 2003 (UNESCO, 2003) concernant la mise en valeur des ressources en eau, mentionne : *" La crise de l'eau est essentiellement une crise de gouvernance. Les causes incluent l'absence d'institutions adaptées aux problèmes de l'eau, la fragmentation des structures institutionnelles (une approche de gestion par secteur et des structures de décision qui font double emploi ou qui s'opposent), des intérêts divergents en amont et en aval en ce qui concerne les droits des riverains et l'accès à l'eau, (. ..) ainsi que les incertitudes concernant l'application des lois et règlements. »*

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) joue un rôle important dans tous les domaines vu que l'eau est essentielle pour le développement socio-économique. Du point de vue ressources en eau, les Wilaya de Annaba et d'El Tarf sont intimement liées, les différentes mobilisations (souterraines ou superficielles), axées sur l'accroissement de l'offre, ont été considéré comme une réponse aux demandes en eau, sans jamais les analyser ni les gérer.

L'abaissement rapide des ressources hydriques dans la région et dans le pays, causé par le changement climatique qui est caractérisé par des importantes alternances pluviométriques ces anomalies sont soutenues par de longues périodes de sécheresse, de crues rapides et parfois violentes associées à une érosion intensive (Kadi, 1997), ainsi la dégradation des eaux superficielle à cause de rejets des déchets urbains et industriels (Hazourli et al., 2007 ; Khadri, 2009 ; Bendjama et al., 2010), de plus la pollution des eaux souterraines et leurs surexploitations a engendré le phénomène de l'intrusion d'eau saline (Djabri et al., 2003 ; Djabri et al., 2013).

La zone d'étude fait partie de l'un des plus importants bassins hydrographiques de l'Algérie, le sous bassin versant de la basse Seybouse « Annaba » et le bassin des côtiers Constantinois-Est « El Tarf », qui représente un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles et souterraines par son apport moyen annuel important. La wilaya d'Annaba continuera d'être le siège de nombreuses institutions administratives et universitaires de taille importante. L'inter-région Annaba-El Tarf a connu un accroissement démographique et industriel intense face à une gestion de ressources en eau insuffisante, vieille et limitée. L'eau représente le facteur et le moteur du développement industriel, touristique, agricole, urbain et rural de la région, nécessitant sa mobilisation en quantités énormes.

L'objectif d'étude est de connaître la situation de la gestion des ressources en eau de l'inter-région Annaba -El Tarf et de savoir quelles sont les stratégies efficaces à adopter pour mieux gérer ces ressources en eau en pleine évolution dans l'optique d'une gestion intégrée.

Pour une meilleure compréhension et analyse des composantes de l'hydro-système de la zone d'étude ainsi pour réaliser l'objectif de la gestion durable des ressources en eau, nous nous sommes intéressées dans le premier chapitre aux : éléments clés pour la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant, étapes de planification, les outils de gestion des ressources en eau et d'aide à la prise de décisions et en fin la présentation du Model WEAP (Water Evaluation and Planning) qui est un logiciel de modélisation informatique conçu pour la simulation et l'analyse des systèmes de ressources en eau.

Le deuxième chapitre comprend une présentation de cadre géographique régional de la région d'étude, quant aux troisième et quatrième chapitre nous aborderons les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et climatologiques de la zone d'étude, afin de comprendre le fonctionnement du cycle hydrologique de ces bassins versants d'une part et, d'autre part, de nous aider à évaluer les ressources en eau (superficielles et souterraines) qui sont présentées dans le cinquième chapitre.

Ensuite, le sixième chapitre a été consacré à l'application du model WEAP pour analyser la situation actuelle de l'approvisionnement des besoins globaux, la relation entre l'offre et la demande en eau et l'évolution des besoins en eau plus au moins à long terme (2010-2050), y compris la croissance future de la population, de l'agriculture et de l'industrie. Premièrement au niveau d'Oued Seybouse (wilaya d'Annaba) qui présente un important développement urbain, industriel et touristique, en deuxième lieu le système complet de l'inter-région Annaba-El Tarf qui sont intimement liées, ceci en première phase. En deuxième phase, nous asseyons d'évaluer l'impact du développement de la population ainsi le changement climatique à sec sur les ressources en eau de la zone d'étude.

Dans le septième chapitre, nous proposons des stratégies de gestion et de planification en eau pour gérer cette eau équitablement et durablement. Finalement nous proposerons quelques recommandations pour remédier les problèmes de pénurie d'eau.

Chapitre I :

***Concepts clés de la gestion intégrée des
ressources en eau par bassin versant***

I.1. Introduction

Au cours des dernières années, on assiste à une multiplication et une intensification des problèmes de dégradation des espaces et des ressources naturelles, de nuisances et de diverses formes de pollution (Bibeault, 1999).

Les préoccupations internationales des changements sociaux, économiques et environnementaux importants, la thématique de la « gestion intégrée » est apparue comme l'un des éléments clés du développement durable ou des principes qui le sous-tendent (Harrison, 2000).

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) s'est développée au fil des années et a été influencée par un certain nombre d'événements importants. L'un des plus importants de ces événements est la Décennie internationale des Nations Unies pour l'eau potable et l'assainissement (1981-1990) également appelée la « Décennie de l'eau »

La Conférence internationale sur l'eau et l'environnement s'est tenue à Dublin en 1992. Il s'agissait de la conférence la plus importante depuis la tenue des Nations Unies à Mar de Plata en 1977. Cette Conférence a présenté des données de base sur les questions relatives à l'eau douce à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, tenue à Rio de Janeiro en juin 1992. La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement a pour objectif d'élaborer des stratégies et des mesures pour enrayer et inverser les effets de la dégradation de l'environnement et promouvoir un développement sain et durable dans tous les pays.

Un nouveau partenariat mondial pour le développement durable et la protection de l'environnement a été élaboré comme base d'un plan d'action global pour les années 90 et se poursuivant au 21^{ème} siècle, appelé Action 21.

Un autre événement important a été créé par Partenariat mondial pour l'eau et du Conseil mondial de l'eau en 1996 pour améliorer la coordination des activités dans le secteur international de l'eau. Les deux institutions sont responsables de la coordination de la mise en œuvre des principes et des pratiques de GIRE à travers le monde.

Le deuxième Forum mondial de l'eau et la Conférence ministérielle de mars 2000 à La Haye constituent un autre point de référence important pour l'élaboration d'un consensus mondial sur la gestion des ressources en eau. L'objectif essentiel de cette réunion était de donner aux parties prenantes l'opportunité d'examiner la crise de l'eau du 21^{ème} siècle et de trouver le mécanisme le plus approprié pour assurer la sécurité de l'eau pour tous les usages au cours du siècle. Les suivants se sont tenus à Kyoto en 2003, à Mexico en 2006 et à Istanbul en 2009, Malgré ces réunions, les critiques continuent à soutenir qu'elles n'ont pas progressé de façon mesurable dans la gestion durable de l'eau (Gleick, 2007).

I.2. Définitions et concepts

Les informations de cette section sont largement tirées de « *Gestion intégrée de l'eau par bassin versant au Québec : Cadre de référence pour les organismes de bassin versant prioritaires* » (Auger & Baudrand, 2004) et de « *Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application* » (Gangbazo, 2004).

I.2.1. Notions sur la gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La gestion intégrée est l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique de l'eau, elle doit donc évoluer dans l'espace de connaissance des ressources «eau» et de leurs usages. D'une méthode définie rationnellement, d'un aménagement qui maximise l'utilisation des ressources et contrôle les normes de qualité qui déterminent l'aptitude de la ressource (Levert & Boisvert, 1985).

Le concept de gestion intégrée à première vue reflète un désir cohérent et fonctionnel de gérer de nombreux problèmes d'utilisation de l'eau à partir d'une approche générale qui améliore toutes les utilisations et les avantages qui y sont associés.

Une approche rationnelle de la gestion intégrée s'impose sous la forme d'une analyse systématique des problèmes et des solutions. Qui s'articule sur deux nécessités autonomes, une nécessité de la « nature » elle-même et une nécessité « sociale » découlant d'un éclairage provenant d'une multiplication des problèmes environnementaux.

Cette double nécessité a été repensée d'une action institutionnelle à l'intérieur d'un nouvel espace qui est le bassin hydrographique ou hydrique. L'unité qui implique de définir les potentialités du territoire à partir de ses particularités géophysiques (Bibeault, 1999).

I.2.2. Définition d'un bassin versant

En hydrologie, le terme bassin versant (ou bassin hydrographique) désigne le territoire sur lequel toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire du bassin versant. Ce territoire est délimité physiquement par la ligne suivant la crête des montagnes, des collines et des hauteurs du territoire, appelée ligne des crêtes ou ligne de partage des eaux. (Banton & Bangoy, 1997)

Le bassin versant souterrain est l'homologue souterrain du bassin versant. Il définit la zone dans laquelle toutes les eaux souterraines s'écoulent un même exutoire ou groupe d'exutoires. Le bassin versant est défini en gestion intégrée de l'eau comme un volume d'espace. Il comprend les eaux de surface, les eaux souterraines, les sols, la végétation, les animaux ainsi que les humains. Par exigence de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant et pour faciliter la prise en compte simultanée des eaux de surface et des eaux souterraines, on considère que les bassins versants de surface et souterrains ont les mêmes limites, ce qui n'est généralement pas le cas (Toth, 1963 ; Nicolas, 2008) (fig I.1). Nous notons que la gestion des eaux souterraines met souvent en cause les mêmes sources de pollution que celles des eaux de

surface, et qu'elles peuvent faire appel aux mêmes types d'interventions qui sont liées aux mêmes acteurs (Gariépy, 2001).

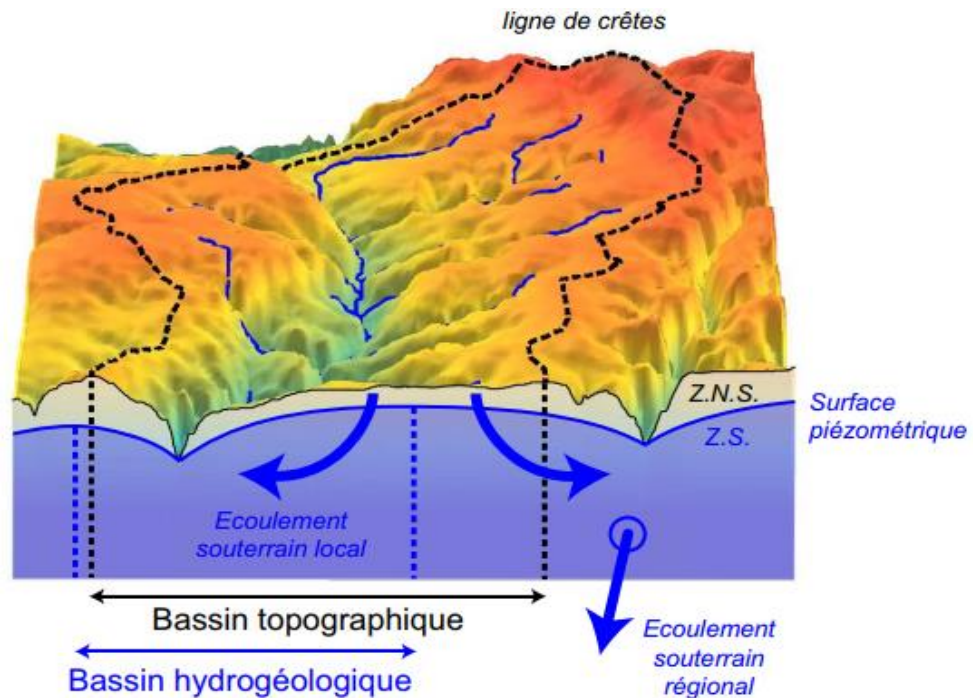


Figure I.1: Illustration du caractère ouvert du bassin versant topographique (in Nicolas, 2008).
[Z.N.S. = zone non-saturée ; Z.S. = zone saturée]

I.2.3. Gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant est un mode de gestion considérant l'ensemble des activités ayant un impact sur la ressource eau à l'intérieur 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. La gestion intégrée de l'eau par bassin versant est donc un concept très large. Par conséquent, chaque pays l'applique en l'adaptant selon la nature et l'intensité des problèmes liés à l'eau, les ressources humaines, les capacités institutionnelles, les forces et les caractéristiques relatives des acteurs de l'eau, le paysage culturel et les conditions naturelles qui lui sont propres (Burton, 2001).

I.2.4 Éléments clés pour la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant

La mise en œuvre de la gestion intégrée des bassins versants est résumée en cinq phases selon le cadre de référence des organismes des bassins versants prioritaires, produit par le ministère de l'Environnement du Québec :

1-La création d'organisme de bassin versant : L'organisme de bassin versant est l'acteur principal de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant, comprend les représentants de tous les usagers et gestionnaires de l'eau situés sur le territoire d'un

bassin versant. Le Conseil d'administration de l'organisme doit être représenté par tous les acteurs de l'eau aux niveaux local et régional ainsi que dans les secteurs public et privé.

2-La réalisation d'un plan directeur de l'eau (PDE) : ce plan est une combinaison des données nécessaires et établissement d'un diagnostic pour dresser un portrait du bassin versant. Le PDE sera l'instrument qui permettra une gestion plus efficace de l'eau, il évalue les coûts et les bénéfices des actions programmées proposées dans un cadre intégré et participatif régi par le schéma d'aménagement directeur.

3-La signature de contrats de bassin versant : Le contrat de bassin versant consigne les engagements moraux et volontaires de la part des participants. Il décrit les activités à entamer, leur coût, et un calendrier des activités ainsi qu'un programme de suivi afin de mesurer les résultats et d'évaluer la situation.

4-La mise en œuvre, le suivi et l'évaluation : Le suivi des actions fournira une évaluation de l'efficacité du plan d'action en mesurant les résultats obtenus et en les comparant avec les objectifs fixés.

5-L'information et la participation du public : La participation du public fait partie intégrante du processus de prise de décision. En conséquence, les organisations de bassins versants devraient développer des mécanismes d'information et de consultation particularisés au public.

I.2.5. Rôles et types d'organismes de bassin :

Avant tout projet de gestion intégrée des bassins versants, il est impératif de former un organisme de bassin versant responsable de la planification de la gestion intégrée de l'eau, qui concrétisera l'alliance entre le public, les groupes de citoyens, les institutions et les différents ordres de gouvernement (Davenport, 2003).

Les informations de cette section sont largement tirées de « *Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin* » (Global Water Partnership, 2009)

Les organisations de bassin devraient jouer un rôle clé dans la coordination de la gestion du bassin. En tant qu'acteur clé, en ce qui concerne les problèmes de l'eau à l'échelle du bassin, il devrait viser à obtenir une vue d'ensemble. Cela signifie informer et mobiliser tous les membres de la communauté du bassin et les décideurs des secteurs public et privé, quels que soient leurs secteurs et à tous les niveaux.

Les organismes de bassin effectuent plusieurs tâches, mais coopèrent principalement dans les trois domaines suivants :

- Suivi, enquête, coordination et réglementation ;
- Planification et financement ;

- Aménagement et gestion.

i. Suivi, enquête, coordination et réglementation :

Dans ce domaine, il s'agit de :

- La collecte des données : récolter, gérer et retransmettre les données relatives à la disponibilité en eau, aux besoins et à la qualité de l'eau en vue de soutenir différentes fonctions du bassin ;
- La protection, supervision et application de la réglementation : contrôler la pollution de l'eau, les niveaux de salinité et les prélèvements d'eaux souterraines afin qu'ils ne dépassent pas les niveaux autorisés, et appliquer les lois et réglementations en vigueur de façon à prévenir la dégradation ou la surexploitation et de restaurer les écosystèmes ;
- La coordination : réunir les politiques et mesures mises en place au niveau du bassin avec les acteurs étatiques et non étatiques par rapport à la gestion des sols et de l'eau ;
- La résolution des conflits : mettre en place des dispositifs de négociation et de règlement des litiges.

ii. Planification et financement :

Il s'agit de :

- La répartition de l'eau : définir les mécanismes et critères d'attribution de l'eau aux secteurs d'usagers ;
- La planification : élaborer les plans d'aménagement et de gestion des ressources en eau par bassin à moyen et long terme ;
- La mobilisation des ressources financières : par exemple à travers le prélèvement de redevances auprès des usagers de l'eau.

iii. Aménagement et gestion :

Il s'agit de :

- La construction d'installations : créer des infrastructures hydrauliques ;
- La maintenance des installations : entretenir ces infrastructures.
- La gestion : garder le bon fonctionnement des barrages, des infrastructures de navigation et de distribution d'eau et des installations de traitement des eaux usées ; que l'eau attribuée arrive à son lieu d'utilisation et que les eaux de surface et les eaux souterraines sont gérées conjointement ;
- La prévention des catastrophes liées à l'eau : aménager des ouvrages de protection contre les risques naturels et accidentels. Ainsi que l'élaboration des plans de protection contre les inondations ou les sécheresses et des stratégies d'adaptation ;
- La protection et préservation des écosystèmes : établissement de priorités et mise en œuvre d'actions de protection des écosystèmes, y compris des campagnes de sensibilisation.

Il existe de divers type d'organisme de bassin sans s'y ajourner nous citerons : les commissions ou autorités de bassin, les agences de bassin, les associations de bassin et les sociétés ou entreprises.

I.3. Facteurs de succès de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant

D'après Browner (1996) ; Partenariat mondial pour l'eau / Comité technique consultatif (2000) et Davenport (2003) : la réussite d'un projet de gestion intégrée de l'eau par bassin versant résulte de plusieurs facteurs. En voici quelques-uns :

- a- Faire du bassin versant l'élément central des efforts de gestion** : La mise en œuvre d'une approche intégrée de la gestion des bassins hydrographiques à l'échelle nationale exige une couverture complète du territoire qui mène inévitablement à l'identification des bassins hydrographiques dans les régions et identifie ceux qui se drainent dans des cours d'eau ou qui contribuent à la recharge des nappes d'eau souterraine ou une combinaison des deux
- b- Adopter une approche participative** ; le fait qu'en termes de ressources en eau, nous sommes tous concernés. Cependant, il ne peut y avoir de réelle participation que si tous les acteurs de l'eau ont leur mot à dire dans le processus de prise de décision. il permet d'intégrer puis d'harmoniser les objectifs environnementaux, économiques, sociaux et culturels.
- c- Faire une grande place aux connaissances scientifiques et utiliser des données fiables** ; Il est nécessaire d'avoir des données fiables à la gestion intégrée de l'eau par bassin (aménagement du territoire, sciences sociales, génie, chimie, biologie, etc.), ainsi que les connaissances historiques sur l'état des ressources. Pour des objectifs bien définis notamment à l'étape de la planification, la création d'une base de connaissances solide relative au bassin versant est obligatoire, l'analyse et l'interprétation de ses données permet de fournir des réponses claires à certaines questions, comme elle peut faire émerger d'autres questions dont les réponses sont insatisfaisantes.
- d- Élaborer un bon plan de communication** ; Le succès de la gestion intégrée des bassins versants nécessite un bon plan de communication. Il est important de faire participer tous les acteurs de l'eau, attirer leur attention et assurer leur soutien pour le succès de la gestion intégrée des ressources en eau, qui dépend des mécanismes de communication, de la qualité et de la pertinence de l'information disponible.
- e- Élaborer un bon programme de formation et de sensibilisation** ; La sensibilisation fait partie intégrante des efforts visant à assurer le succès de la gestion intégrée des bassins versants, les acteurs locaux doivent être sensibilisés, pour comprendre l'état des ressources en eau afin de concevoir et mettre en œuvre des solutions en travaillant avec le comité technique

I.4. Difficultés de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La gestion et même la coordination des programmes axés sur les bassins versant comportent de nombreux avantages environnementaux, financiers, sociaux et administratifs (Browner, 1996). Comme elle a aussi de nombreux défis, une fois surmontés, deviennent des opportunités extraordinaires. Voici quelques exemples (Committee on Watershed Management, 1999 ; Gariépy, 2001) :

- Les limites des bassins versants ne correspondent généralement pas aux limites administratives, ce qui peut entraîner des problèmes d'organisation, les outils d'aide à la décision ne sont pas toujours disponibles ou efficaces (modèles mathématiques, systèmes experts, bases de données, etc.)
- La fragmentation des responsabilités entre plusieurs organismes gouvernementaux est difficile et rend l'harmonisation des politiques et des programmes gouvernementaux complexe.
- La gestion intégrée des bassins versants exige une augmentation des compétences et des connaissances, certains outils existants nécessitent une formation ou une expérience que l'on trouve uniquement dans les départements spécialisés de certaines universités. C'est le cas en particulier des modèles mathématiques pour simuler la pollution de l'eau ;
- Le processus de planification est généralement lent et exige de la communication, de collaboration, de transparence et d'ouverture ; certains acteurs, moins habitués à ce type de travail, deviennent pressés, impatients pour passer à l'action ;

I.5. Etablir une vision stratégique ou planification stratégique :

La durabilité dans le développement national exige une vision stratégique à long terme et soutient divers processus de développement pour qu'ils soient aussi sophistiqués que les défis sont complexes.

Un bon début dans le processus de planification sera une vision future des ressources en eau dans environ 20 ans, selon le « *Plans de gestion intégrée des ressources en eau* » *Manuel de Formation et Guide Opérationnel* établie par le *Partenariat mondial de l'eau [GWP], United Nations Development Programme [UNDP]* et *Cap-Net, (2005)*, dans le cadre de l'Initiative Canadienne, « *Programme pour le Développement de l'Eau en Afrique* » (GWP, UNDP et Cap-Net, 2005). Cela permet de capitaliser sur l'avenir en évitant les préoccupations concernant les systèmes et les conflits actuels. La vision peut être appliquée au niveau régional (inter pays), au niveau d'un cours d'eau partagé (bassin interne de fleuve), au niveau national ou au niveau local (sous bassin).

Sur la base de la vision, de l'analyse de la situation et de l'utilisation d'une stratégie des ressources en eau, selon la même source un plan GIRE peut être élaboré. De nombreux projets peuvent être nécessaires non seulement pour des activités et des budgets faisables et réalistes, mais aussi pour l'accord des décideurs politiques et des parties prenantes sur divers

compromis et décisions. **L’approbation par le gouvernement** est essentielle à la mobilisation et à la mise en œuvre des ressources.

Selon le « *Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin* » établi par le Partenariat mondial de l'eau et le Réseau international des organismes de bassin (2009) l'élaboration d'une stratégie par bassin implique cinq étapes majeures. L'ordre d'exécution de ces étapes varie selon les circonstances :

1. Identification des problèmes : L'élaboration d'un plan stratégique commence par l'identification précise des problèmes de gestion des eaux et des sols, ainsi que des activités au niveau du bassin. Les gestionnaires de bassin peuvent l'identifier de plusieurs façons, par le biais d'ateliers réunissant les parties prenantes, d'enquêtes ou en demandant des rapports à différents groupes de parties prenantes. Elle déterminera l'ampleur, l'étendue et la gamme des problèmes à résoudre, ainsi que les politiques et les réglementations à mener, et susceptibles d'identifier des solutions possibles

2. Définition des priorités : Après avoir identifiés les problèmes, cette étape consiste à définir des priorités. Il est souvent préférable de traiter d'abord les problèmes les plus simples de développement et de gestion des ressources, plutôt que d'essayer de résoudre les problèmes les plus complexes ou tous les problèmes simultanément.

Il est important de noter que les priorités locales doivent être en accord avec les priorités régionales et nationales associées à la gestion de l'eau, et, ainsi, dans les stratégies et plans globaux de GIRE.

3. Identification des options de gestion : Le développement des systèmes d'information géographique (SIG) et les systèmes d'aide à la décision (SAD) ont contribué à la prise de décision en matière de gestion des bassins. Ces outils sont particulièrement utiles pour définir les priorités et les options de gestion. Cependant, ces outils ne sont qu'un moyen, et non une fin en soi, et ne peuvent remplacer des gestionnaires compétents et bien formés, ainsi qu'aux processus de consultation.

Les outils de modélisation sont utilisés pour intégrer des données sociales, économiques et biophysiques dans un système d'information géographique pour fournir des options de gestion.

4. Analyse des coûts et bénéfiques : Une fois les priorités de gestion du bassin identifiées, l'étape suivante consiste à déterminer l'évaluation des coûts et des bénéfices, ce qui est essentiel pour l'élaboration de la stratégie du bassin et la sélection des meilleures options.

5. Evaluation des risques : L'évaluation des risques, tels que les inondations, les sécheresses et autres catastrophes naturels, et prendre en considération les mesures visant à réduire ces risques qui sont des éléments cruciaux dans l'élaboration de plans stratégiques de gestion des bassins hydrographiques, par exemple se préparer aux risques du changement climatique.

I.5.1. Principes généraux de la planification

Selon la Committee on Watershed Management (1999), le but de la planification est de faire des choix pratiques à partir d'une gamme d'options qui intègrent des considérations économiques, sociales, politiques et éthiques appropriées. Elle doit être basée sur un processus qui intègre à la fois l'analyse scientifique et la participation du public.

Le processus de planification devrait également être organisé pour prendre en compte l'ampleur et l'endroit du problème et ne devrait pas être linéaire ou mécanique, mais intégré et itératif. La majorité des modèles de planification ont en commun les quatre étapes suivantes :

1. Définir le problème ;
2. Déterminer les objectifs et trouver les différentes solutions permettant d'atteindre les objectifs ;
3. Choisir les meilleures solutions ;
4. Mettre les plans en œuvre.

I.5.2. Planification de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant

La mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant nécessite plusieurs types de planification (O'Riordan, 1983 ; Ziemer, 1997).

Une planification à l'échelle de l'État : est effectuée par des organismes gouvernementaux. Elle vise à établir les conditions politiques, administratives et légales qui garantissent son succès dans tout le territoire de l'État. Ce sont, en particulier, le découpage du territoire en grands bassins versants, le développement d'un cadre de gestion, l'élaboration d'un cadre financier, l'ajustement des structures administratives et de la législation, l'adaptation et les politiques et programmes gouvernementaux au contexte de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant, et la formation du personnel affecté au soutien des organismes de bassin versant.

La planification à l'échelle des bassins versants : est assurée par les organismes de bassins versants en partenariat avec les acteurs de l'eau. Elle a trois objectifs :

- 1- déterminer les solutions (projets formels et autres activités) qui permettront d'atteindre les objectifs de protection, de restauration ou de valorisation de l'eau ;
- 2- concevoir des projets qui peuvent être mis en œuvre par l'organisme du bassin versant au nom de toutes les parties prenantes de l'eau, y compris les résidents ;
- 3- coordonner les actions entreprises dans le cadre de certains projets avec celles qui se déroulent dans les bassins versants adjacents.

La planification à l'échelle du projet : est effectuée par les intervenants de l'eau, les organismes privées et publiques et les individus. Elle vise à concevoir et réaliser des projets qui ont été déterminés par l'organisme du bassin versant de manière concertée pour atteindre les objectifs fixés pour la protection, la restauration ou la mise en valeur de l'eau.

I.5.3. Étapes de la planification

Pour planifier un projet de gestion intégrée de l'eau par bassin versant, (United States Environmental Protection Agency [USEPA], 1995 ; Browner, 1996 ; Davenport, 2003), Plusieurs étapes doivent être franchies (figure I.2) :

- 1-Analyse du bassin versant ;
- 2-Détermination des enjeux et des orientations ;
- 3-Détermination des objectifs et choix des indicateurs ;
- 4-Élaboration d'un plan d'action ;
- 5-Mise en œuvre du plan d'action ;
- 6-Suivi et évaluation du plan d'action.



Figure I.2 : Schéma du cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant, adapté de : United States Environmental Protection Agency (1995) ; Browner (1996) ; Davenport (2003) (in Gangbazo, 2004).

Comme on peut le voir, le processus de planification fonctionne comme un cycle appelé « Cycle de gestion intégrée des bassins versants », qui commence par une analyse des bassins versants. Il peut être pratique de montrer le cycle de gestion comme une succession d'activités qui requièrent la participation active des acteurs de l'eau et du public à des étapes stratégiques importantes en au moins deux étapes, soit :

- 1- L'élaboration d'un programme de sensibilisation initial ; la formation de l'organisme de bassin versant et la formation d'un comité technique ;

2- La collecte de données et d'informations pertinentes concernant le bassin versant (voir la fig I.3).

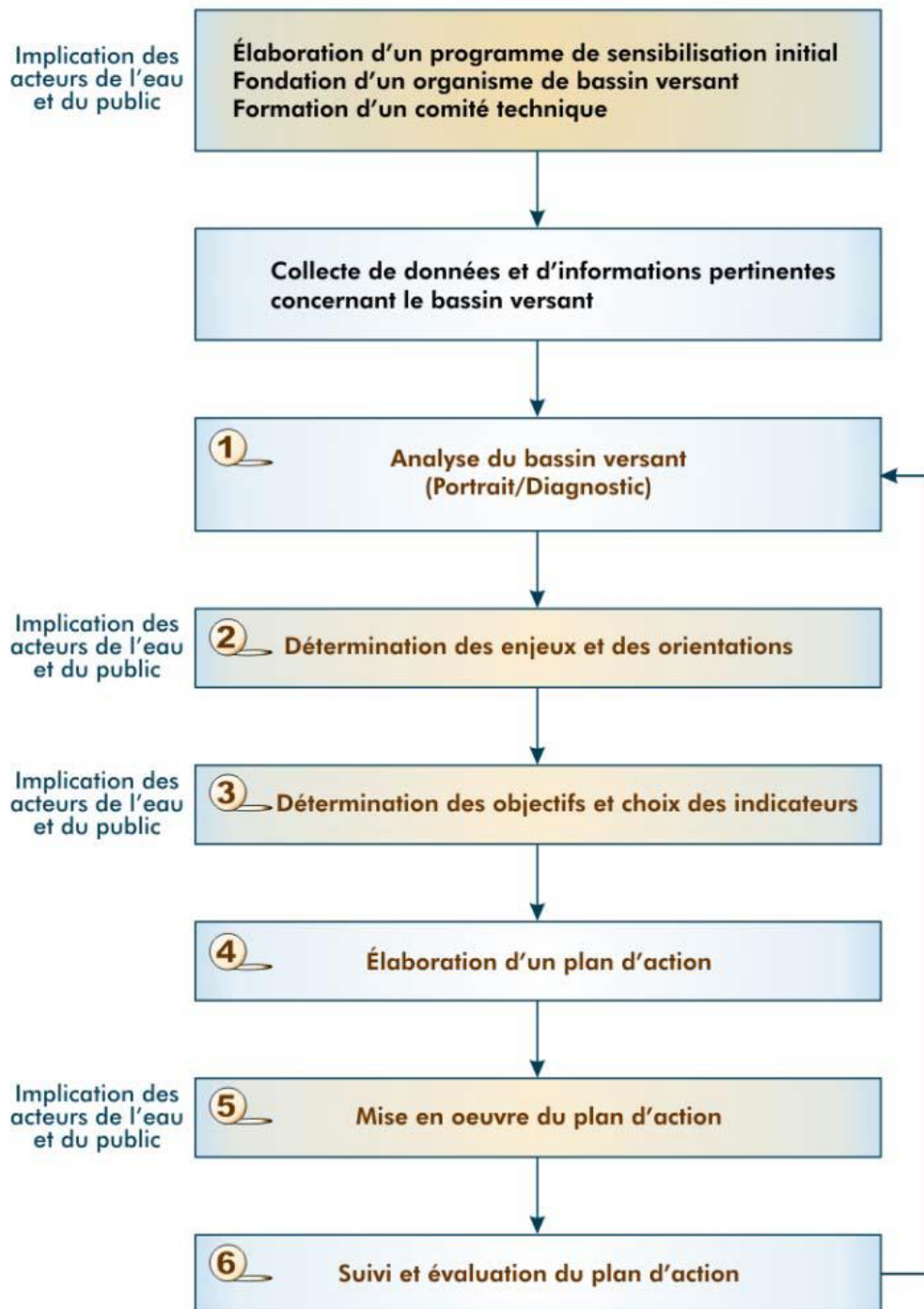


Figure I.3 : Cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant montrant les actions préalables à l'élaboration du plan directeur de l'eau et les étapes nécessitant une consultation publique (in Gangbazo, 2004).

Étape 1 : Analyse du bassin versant : cette opération vise à assurer que l'ensemble des acteurs de l'eau qui doivent partager les mêmes connaissances de base du bassin versant (portrait et diagnostic), de ses potentiels, des menaces, des possibilités d'action et des problèmes liés à l'eau et aux écosystèmes associés.

Étape 2 : Détermination des enjeux et des orientations : Les parties prenantes du secteur de l'eau identifient les usages importants de l'eau et des écosystèmes de leur bassin versant ainsi que les problèmes de gestion de l'eau qui doivent être traités par l'organisme de bassin versant dans le cadre de sa mission. Ils identifient ensuite les principaux moyens d'action (orientation) qui aident à résoudre les problèmes liés aux enjeux. Si le problème concerne le *pourquoi*, l'orientation concerne le *comment*.

Étape 3 : Détermination des objectifs et choix des indicateurs : À ce stade, les objectifs généraux et les objectifs spécifiques que poursuit l'organisme du bassin versant par les projets et les activités qu'il compte réaliser doivent être établis. Les objectifs peuvent concerner l'état de la ressource en eau (La qualité de l'eau ; La qualité des rives des cours d'eau, des milieux humides et des habitats ; La faune et la flore aquatiques et des rives.). Ou alors les usages de l'eau (accès publics aux plans d'eau, approvisionnement en eau pour l'agriculture, le contrôle du régime hydrique des cours d'eau (contrôle des crues, hydroélectricité, barrages de retenue, dérivation, etc.) ; mise en valeur récréotouristique comme la pêche, l'interprétation scientifique et les sentiers pédestres). Les indicateurs sont des mesures qui doivent être sélectionnées pour l'efficacité des solutions mises en œuvre dans les bassins versants afin d'atteindre les objectifs fixés

Étape 4 : Élaboration d'un plan d'action : le plan d'action va déterminer les projets qui pourraient résoudre les problèmes de chaque enjeu dans le respect des orientations pour atteindre les objectifs visés. Il comprend : les solutions retenues, les actions, les programmes de renforcement de capacités (formation et sensibilisation), les programmes de suivi administratif et environnemental, les responsabilités de chaque partenaire, le budget, les sources de financement et l'échéancier des projets à réaliser.

Étape 5 : Mise en œuvre du plan d'action : La mise en œuvre du plan d'action relève de la responsabilité des différents acteurs impliqués dans le projet, en fonction de leurs intérêts, leurs expertises, de leurs pouvoirs et de leurs obligations.

Étape 6 : Suivi et évaluation du plan d'action : le cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant doit comprendre le suivi et l'évaluation des impacts environnementaux et socio-économiques du plan d'action et leur communication au public afin de prouver l'efficacité de certains projets, surtout ceux qui visent l'amélioration de la qualité de l'eau, est une tâche relativement difficile sur le plan scientifique (USEPA, 1995). Le suivi du plan d'action dépendrait initialement des indicateurs administratifs tels que le respect des objectifs de gestion. Bien que l'évaluation permettra des révisions périodiques du plan d'action pour y apporter les corrections nécessaires au plan d'action pour le prochain cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant.

I.6. Outils de gestion des ressources en eau et d'aide à la prise de décisions :

Le diagnostic à l'échelle du bassin versant nécessite une certaine connaissance du territoire, le traitement et la transposition des données seront faciles lors de l'utilisation d'un nouveau système (Charnay, 2010).

Selon Gangbazo (2004) les outils et procédures qui permettent à l'organisme du bassin versant de prendre des décisions appropriées sur l'avenir des bassins versants sont conçu pour :

- Cibler les problèmes relatifs au bassin et fixer les objectifs du projet ;
- Déterminer les acteurs clés ;
- Évaluer les solutions possibles ;
- Déterminer les mécanismes de résolution des conflits.

Les outils d'aide à la décision numérique sont très varié et peuvent être utilisés seuls ou en combinaison (Dupont et al., 1998). Il y a d'un côté :

- Les modèles mathématiques ;
- Les systèmes d'information géographique (SIG) ;
- Les systèmes experts (SE) ;
- Systèmes d'aide à la prise de décision (SAD)

D'un autre côté, on trouve **les systèmes d'aide à la décision (SAD)** qui utilisent les données fournies par les systèmes d'information (les SIG intègrent et analysent les ensembles de données, affiche les résultats dans l'espace), ils sont largement utilisés dans les pays développés afin d'organiser les données géographiques du bassin. Les SAD étudie plusieurs scénarios et affiche l'effet des changements de paramètres. Elles peuvent aussi intégrer un ou plusieurs de ces outils numérique, tel que : l'Hydrom, Modflow, Aquachem, Telemac, Pluviom... etc. Ces derniers sont plus spécifiquement orientés que les premiers pour aider le décideur dans la gestion des ressources en eau (Dupont et al., 1998).

a- Les modèles mathématiques

Les modèles mathématiques en science de l'environnement existent depuis des décennies et peuvent être utilisés pour simuler divers phénomènes et scénarios liés à l'hydrologie, la qualité des eaux, l'impact des pratiques agricoles, les fonctions des coûts...etc. L'utilisation de modèles mathématiques permet de prévoir ou prédire un état futur ou simuler des scénarios de planification ou d'intervention. Ces outils numériques sont souvent bien adaptés à la gestion opérationnelle des interventions, à la compréhension des processus à l'œuvre et à la prévision de différents impacts environnementaux et socio-économiques. (Villeneuve et al., 1998).

b- Systèmes d'information géographique (SIG)

L'utilité du SIG a évolué au fil des années et est devenue essentielle dans la gestion des données à référence spatiale et l'aménagement du territoire. Le SIG est un outil de gestion et d'analyse des données spatiales géographiques. Il est très utile pour intégrer des informations ponctuelles, vectorielles et matricielles d'origines différentes. Les noms les plus connus sont : ARCInfo, ARCView, SPANS, CARIS, GENAMAP, GRASS, INTERGRAPH, GRASSLAND, TNTMips, MAPInfo, Idrisi. Ce sont en fait des outils de conception assistée par ordinateur (CAO) spécifiquement orientés vers les travaux d'analyse spatiale (Dupont et al., 1998).

c- Systèmes experts

Les systèmes experts utilisant le concept d'intelligence artificielle, ils sont apparus un peu plus récemment que les SIG ou les modèles mathématiques (Dupont et al., 1998). Ce sont des outils de diagnostic puissants, sont utilisés notamment dans le cadre de sujets très ciblés axés sur l'intervention et l'exploitation. On note par exemple, le module système expert du logiciel Raison, utilisé pour aider à la gestion ou la modélisation des ressources en eau (Lam et al., 1996).

d- Systèmes d'aide à la prise de décision (SAD)

Le système d'aide à la décision (SAD) une évolution récente des outils numériques. Dans certains cas, ces SAD offrent des possibilités de visualisation et de scénario. Ils peuvent être très complexes en termes d'utilisation, mais ils sont néanmoins très utiles au décideur (Liu, 1995). Notez que le terme environnement de support à la décision (Decision support environment) fait référence à un ensemble de logiciels informatiques aident les utilisateurs de partager la connaissance, l'information et les données pour mieux comprendre un problème décisionnel et ainsi améliorer la prise de décision (Orlob, 1992).

Les SAD sont bien adaptées aux problèmes qui impliquent le concept de gestion intégrée des bassins versants ou un large éventail de facteurs environnementaux humains pouvant avoir des impacts multiples sur les ressources en eau (Dupont et al., 1998).

➤ *Hydrom*

Est un outil informatique qui permet : l'acquisition, la gestion, le traitement et l'édition sous forme d'enregistrements de données collectées par un réseau de stations de mesure hydrométrique (Cochonneau, 1980).

➤ *Aquachem*

Les outils intégrés d'Aquachem fournissent plusieurs méthodes de calcul standard pour l'analyse, l'interprétation et la comparaison des données géochimiques aqueuses, allant de la simple transformation aux évaluations statistiques et aux calculs géothermiques. C'est l'outil le plus puissant pour l'interprétation, l'analyse et la modélisation de données géochimiques simples ou complexes. Il peut aussi gérer et interpréter les données de qualité des eaux (Rakotondrabe, 2006).

➤ *Modflow*

Est un outil de gestion et de modalisation des eaux souterraines (Hill et al., 2000), il permet de modéliser : Les écoulements d'eaux souterraines ; Les interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface ; L'évolution de la chimie des eaux le long de la ligne d'écoulement ; Les transferts de polluants.

➤ **Telemac**

Ce système de logiciels est développé par le laboratoire national d'hydraulique et environnement (LNHE) d'EDF R&D. Différents modules permettent de modéliser la dynamique des écoulements, bi –ou tridimensionnels dans les milieux naturels (cotes, estuaires, lacs et rivières) et le transport de substance par ces écoulement polluants conservatifs ou dégradables, sables, vases,...etc (CAEN, 2000).

➤ **WEAP**

Le système d'Evaluation et de Planification de l'Eau WEAP est développé par Stockholm Environment Institute's. WEAP fourni un système de maintien de l'information de la demande et de la distribution. Comme outil de prévision, WEAP simule la demande en eau, l'offre, le débit, le stockage, la génération de pollution, le traitement et la distribution. Comme outil d'analyse des politiques, WEAP évalue une gamme complète d'options de développement et de gestion de l'eau, et considère multiples usages compétitifs des systèmes d'eau (SEI, 2008).

Ce modèle va simuler le fonctionnement du système de l'eau de notre zone d'étude d'Oued Seybouse (Annaba) et le bassin de côtier constantinois Est El-Tarf.

I.7. Présentation du logiciel WEAP

Les informations de cette présentation sont largement tirées de « Tutorial : Une collection de modules autonomes pour aider à apprendre le logiciel WEAP » (SEI, 2008).

WEAP est un outil de planification intégrée des ressources en eau, il fournit une structure compréhensive, flexible et d'utilisation facile pour les analyses des politiques. Un nombre croissant de professionnels de l'eau ont trouvé WEAP un ajout utile à leur boîte à outil de modèles, bases de données, feuilles de calculs et autres logiciels.

WEAP est complet, simple et facile à utiliser, et tente d'assister plutôt que de substituer les planificateurs habiles. Comme base de données, WEAP fourni un système de maintien de l'information de la demande et de la distribution. Comme outil de prévision, WEAP simule la demande en eau, l'offre, le débit, le stockage, la génération de pollution, le traitement et la distribution. WEAP évalue une gamme complète d'options de développement et de gestion de l'eau, et considère multiples usages compétitifs des systèmes d'eau.

I.7.1. Historique :

WEAP a été créé en 1988 comme un outil de gestion et de planification des ressources en eau dans le but d'évaluer la durabilité des schémas actuels d'approvisionnement et d'envisager d'autres scénarios à long terme. La première application importante de WEAP était dans la région de la mer d'Aral en 1989 avec le parrainage de Stockholm Environment Institute. SEI a continué à soutenir le développement de WEAP par son centre de Boston (SEI-Boston), qui a été créé en 1989. Au fil des années, WEAP a été appliquée dans de nombreux pays et des bassins fluviaux.

II.7.2. Structure du programme

WEAP consiste en cinq formes principales de présentations des données et des résultats sont présentées ci-après : Schéma, Données, Résultats, Schémas Synoptiques et notes.

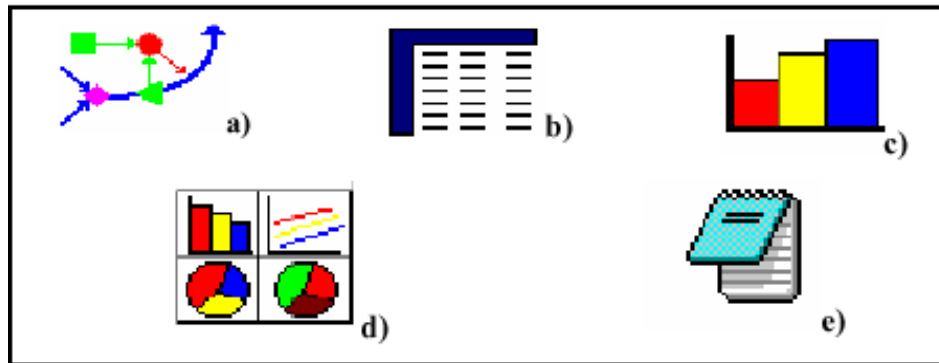


Figure I.4 : Les cinq présentations principales du WEAP (in SEI, 2008).

II.7.2.1. Schéma (Cartographie) :

Cette vue contient des outils basés sur les systèmes d'information géographiques (SIG) pour une configuration facile. On peut créer et placés dans le système des objets (tels que les nœuds de demande, les retenues) par des opérations de sélection, glisser et coller d'articles à partir d'un menu. On peut ajouter au schéma comme arrière-plan des fichiers image (raster) ou vecteur obtenus par ArcView ou d'autres outils SIG standard. On peut accéder rapidement aux données et aux résultats de n'importe quel nœud en cliquant sur l'objet de notre intérêt.

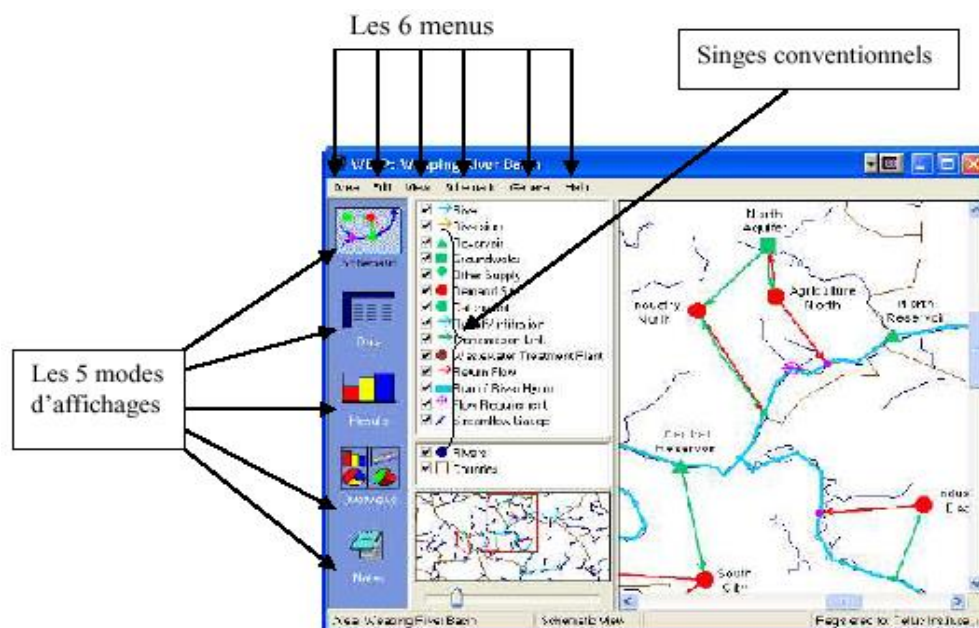


Figure I.5 : Fenêtre cartographie WEAP.

II.7.2.2. Base de données

La vue des données nous permet de créer des variables et des relations, entrer des hypothèses et des projections utilisant des expressions mathématiques et des relations dynamiques avec Excel, à partir d'ici qu'on crée notre modèle et des suppositions de données.

Pour l'affichage des données, l'écran est divisé en quatre fenêtres comme le montre la figure I.6.

i. Le menu est employé pour créer et organiser des structures de données dans six suppositions principales tel que : hypothèse clé, sites de demandes, hydrologie, approvisionnement et ressources, qualité de l'eau

ii. Un lien hiérarchique est utilisé pour présenter la carte du monde celle-ci et qui est nécessaire pour la modélisation de la zone d'étude.

iii. Un lien hiérarchique est employé pour présenter et saisir les données dans des tableaux ;

iv. Un lien hiérarchique est employé pour exposer graphiquement les données. On peut transférer directement les données numériques dans Microsoft Excel.

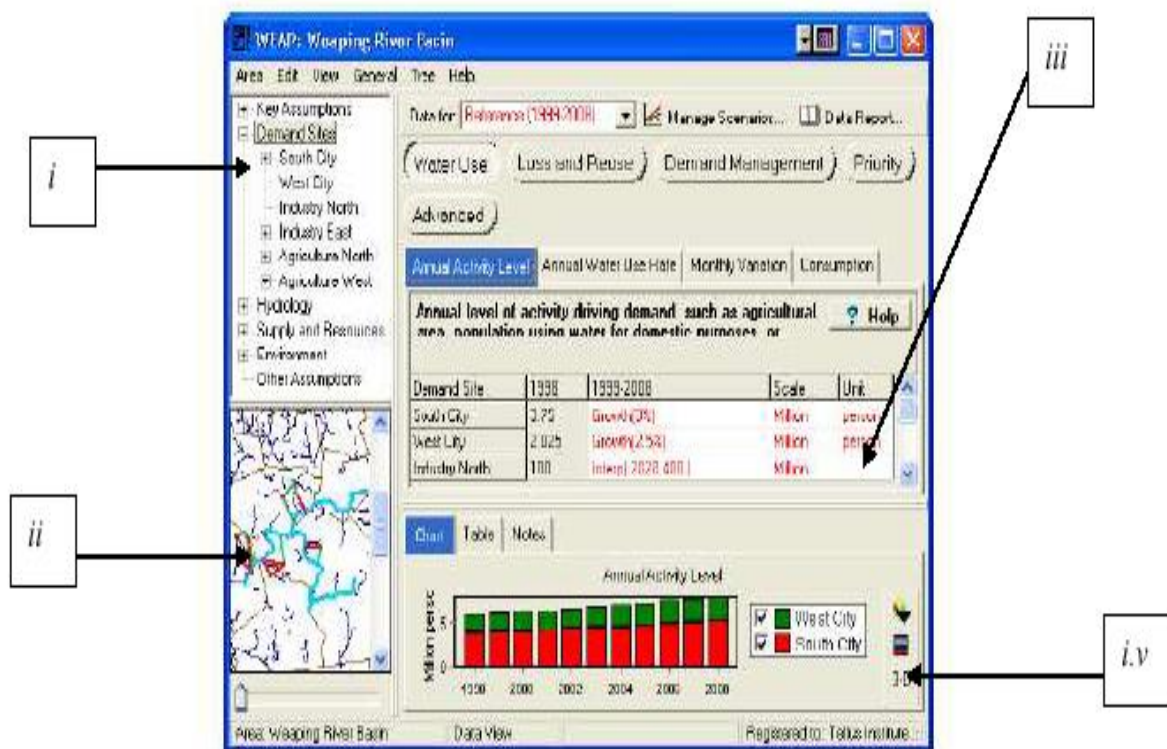


Figure I.6 : Fenêtre base de données.

II.7.2.3. Présentation des Résultats

La vue des résultats permet un affichage détaillé et flexible des sorties du modèle dans des graphiques et des tableaux et dans le schéma.

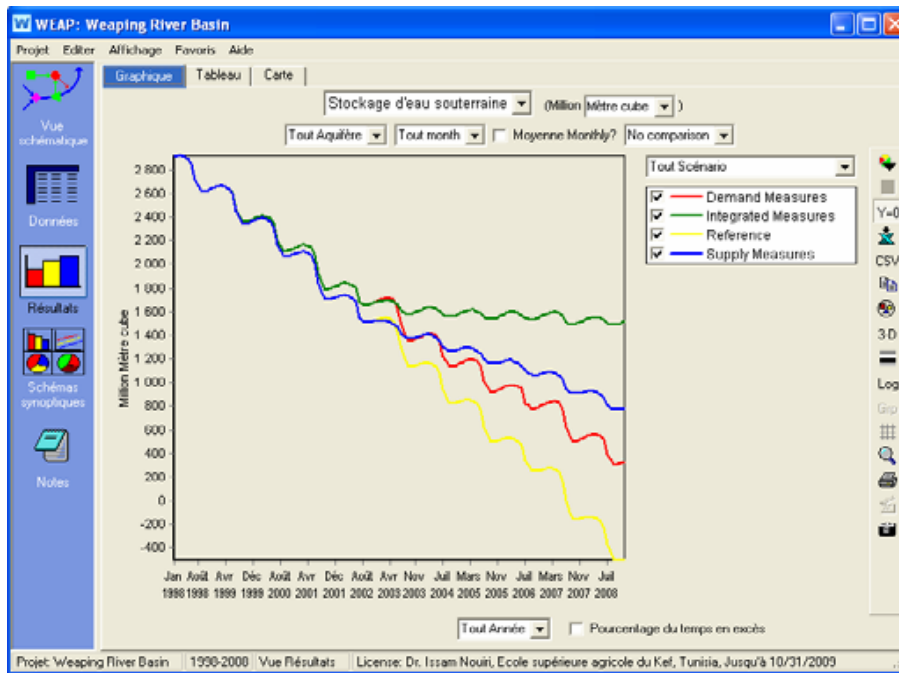


Figure I.7 : Résultat en graphe (in SEI, 2008).

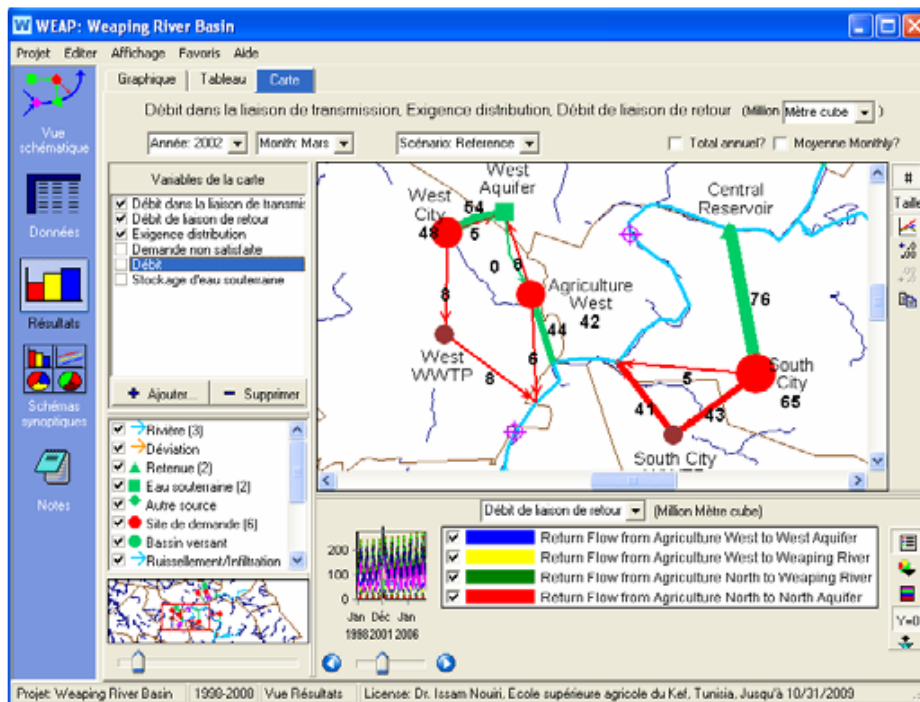


Figure I.8 : Résultat sur carte (in SEI, 2008).

II.7.2.4. Représentation graphique (Schémas Synoptiques)

La représentation graphique (fig I.4, d) est employée pour grouper l'ensemble des diagrammes qui sont créés dans les résultats. Avec cette représentation, on peut juger conjointement les différents aspects importants du système, tels que les demandes, le recouvrement, le niveau de stockage...etc.

II.7.2.5. Bloc-Notes

L'écran de notes est un outil simple de traitement de texte (fig I.4, e) avec lequel on peut écrire des informations documentaires et des références pour chaque branche du lien. On peut importer les notes vers le texte (Microsoft Word).

II.7.3. Fonctionnement du logiciel

WEAP fonctionne suivant cinq (5) étapes :

II.7.3.1 Créer une zone d'étude

En premier, il s'agit de créer une carte de la région e d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG) en particulier ArcGis. Cette carte nous aidera pour orienter et construire notre système et raffiner les limites du projet. Afin de localisé aussi les éléments nécessaires aux simulations tels que : les sites de demande (emplacements urbains), les rivières, les ressources en eau souterraines, et superficielles tels que les réservoirs et les barrages, les industries, les sites d'agricultures et les autres types d'emplacement selon l'étude.

II.7.3.2. Saisie les données

Les données sont saisies directement dans la zone d'études soit en carte dans chaque emplacements (urbains, industriels, agricole,.....) ou dans la vue « donnée » tableau de la base des données.

II.7.3.3. Créer les hypothèses clés et références

Les hypothèses clés sont spécialement valables et utilisées lorsque le modèle a un grand nombre d'éléments semblables on les utilise facilement quand on affecte à tous nos sites de demande la même consommation domestique unitaire. nous pouvons alors créer des scénarios pour faire varier cette consommation sans avoir besoin d'éditer chacun des sites de demande – simplement par le changement de la valeur de l'hypothèse clé.

Exemple des hypothèses clés qu'on a utilisé dans notre étude : Taux de perte du réseau d'AEP ; Taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur ; Volume d'eau recyclée destinée à l'irrigation (pour la réutilisation des eaux usées)... Il est nécessaire d'avoir une année de référence pour le modèle.

II.7.3.4. Proposer des Scénarii

Dans WEAP, la modélisation des scénarios comprend trois étapes. En premier lieu, une année est choisie pour servir comme année de base pour le modèle « Comptes Actuels » ; Les comptes Actuels étaient définis par les données que nous avons introduites comme donnée de base. Un scénario de référence « Reference» va être établi à partir des Comptes

actuels pour simuler la même évolution du système sans intervention, Finalement, des scénarios peuvent être créés pour changer le scénario « Reference » et évaluer les effets des changements des politiques et/ou des technologies.

II.7.3.5. Présenter les résultats

Les résultats peuvent être exposés sous forme de graphe et (ou) de tableau. On aura deux résultats à comparer : les résultats de l'année de référence et de l'année de scénario.

II.7.4. Données nécessaires

La modélisation par le WEAP nécessite la caractérisation de la zone d'étude de point de vue climatologie, qualité et quantité des ressources en eau disponible, les données sont différentes et dépend de l'étude à laquelle veut procéder.

II.7.5. Etude de l'offre et de la demande en eau

L'étude de l'offre et de la demande, l'approvisionnement en eau, la quantité d'eau domestique utilisée, la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation, la quantité d'eau utilisée pour l'élevage, les nombres ou effectifs d'utilisateurs, la surface cultivée, les précipitations, l'évapotranspiration, et les débits sont les principales données nécessaires. Ces données supposées (ressources en eau et les principaux usagers de l'eau) nous permettent de faire une modélisation de la gestion de l'eau et l'établissement des priorités à l'attribution des demandes. Et pour rendre la modélisation plus proche de la réalité des données des autres utilisateurs comme l'industrie, l'exploitation minière, le tourisme et autres doit être prise en compte.

II.7.6. Etude de la qualité de l'eau

Dans d'autres études futures, les polluants peuvent être modélisés en deux types : les polluants conservateurs et les polluants non conservateurs. Un polluant est dit conservateur s'il n'y a aucun affaiblissement de ses constituants. Par contre, il est non conservateur si ses constituants se délabrent selon une fonction d'affaiblissement. Quand on fait la modélisation de ce polluant, on saisit aussi les données sur le taux quotidien d'affaiblissement de l'élément polluant à modeler. Cet aspect n'a pas été considéré dans notre recherche.

II. 7.7. Etude hydrologique

Les données principales de cette modélisation sont surtout les données climatiques comme : l'évapotranspiration potentielle ou réelle (ETP/ETR), précipitations (P), écoulement (R) ou débit (Q), humidité (H), et infiltration (I). Il existe déjà un modèle nommé «Méthode de l'année hydrologique » qui permet de faire une simulation et représente les variations des données climatiques comme les Débits de rivière, la pluviométrie et la recharge de la nappe. WEAP permet aussi de simuler l'interaction d'eau de surface -eau souterraine par la modélisation d'écoulement et de précipitations ou par le modèle d'humidité du sol.

II. 7.8. Etudes hydroélectriques

WEAP peut modéliser la production de l'énergie de trois façons. A travers retenue Online, Retenue Off-line et à travers des stations hydroélectriques run-off river.

II. 7.9. Modélisation des eaux souterraines

Le MODFLOW est un programme qui résout numériquement l'équation tridimensionnelle d'écoulement des eaux souterraines par la méthode de l'élément finie.

I.7. Conclusion :

La gestion intégrée des bassins versants est une approche clé pour assurer une meilleure gestion de l'eau, elle constitue un processus à longue échéance qui nécessite une adaptation dans plusieurs secteurs (gouvernement, municipalités, industries, producteurs agricoles, universités, populations civiles, etc.).

Si la gestion intégrée des ressources en eau ne prend pas en compte : les besoins de gestion, une amélioration d'archivage des données, une bonne communication entre les décideurs et les concepteurs des outils d'aide à la décision et leur intégration complète à l'intérieur de structure organisationnelle des décideurs, elle restera une tâche très difficile ou impossible pour les décideurs à l'échelle du bassin.

Malgré l'existence d'une multitude de modèles, SIG et SAD, le recours aux outils d'aide à la décision par la plupart des organismes gouvernementaux est très limité. Nous avons choisis le modèle WEAP 21 (Water Evaluation And Planning System) comme méthode d'approche qui aide l'intégration de gestion des ressources en eau qui contribue au processus décisionnel. Le modèle simulera le fonctionnement du système d'eau dans la zone d'étude et donnera une interprétation de la situation actuelle et future des ressources existantes, ainsi qu'une planification des ressources en eau dans la zone d'étude.

Nous présenterons ci-dessous le cadre géographique régional, l'aspect géologique, l'hydrogéologie, l'hydroclimatologie et l'hydrologie de la région d'étude avant de procéder à la simulation du modèle WEAP.

Chapitre II :
***Cadre géographique régional de la région
d'étude***

II.1. Introduction

La région d'étude est située dans l'extrême Nord –Est algérien dans les territoires des wilayas Annaba et El Tarf, elle comprend 20 communes, réparties sur une superficie de 3871 km². Elle est limitée Au Nord, par la mer méditerranée, A l'ouest, par le massif de l'Edough (1008 m) et le bassin fermé du lac Fetzara, plus au Sud-Ouest par la wilaya de Guelma, à l'Est par le bassin des côtières de la Calle et les frontières Tunisiennes au Sud-Est par le bassin de Medjarda.

La zone d'étude comprend les Oueds les plus importants de l'Algérie par la longueur de leurs parcours, le nombre important de ses affluents et par la superficie de ses bassins. La région d'étude s'étale sur (Mebarki, 2005) :

1- Le sous bassin d'Oued Seybouse se situe à l'aval de son important bassin versant Seybouse qui présente son axe de drainage et appartient au système aquifère Annaba – Boutheldja qui couvre une superficie de 1066 km², soit 16,47 % de la superficie totale du bassin versant Seybouse. L'oued prend sa source dans les hautes plaines des Sellaoua et de Heracta, et draine des reliefs assez simples avec des écoulements très lents, son parcours continu dans l'Atlas Tellien fort accidenté et complexe où le réseau hydrographique est rarement adapté à la structure. ses oueds ont un profil en long irrégulier et tendu, caractérisé par des torrents de type méditerranéen, assurant une évacuation rapide et forte des eaux sur de courtes périodes. Les nappes alluviales aquifères traversées par la Seybouse et la quantité importante des précipitations d'hiver reçues par cette chaîne montagneuse, permettent de régulariser l'écoulement de cet oued. A la sortie de ce réseau hydrographique, la Seybouse pénètre dans la basse plaine d'Annaba et se jette dans la mer.

2- Et le bassin versant de la Mafragh inclus dans le bassin versant des côtières Constantinois-Est, forme le versant Nord du dernier tronçon de la chaîne septentrionale, Monts de la Medjerda en Algérie et Mont de Kroumirie en Tunisie, Il est drainé par deux oueds importants « L' Oued Bounamoussa » à l'ouest et « L'Oued El Kebir-Est » à l'Est, ces affluents naissent dans les montagnes gréseuses (grès numidiens) boisées et très fortement arrosées. ces oueds rejoignent la mer par un exutoire unique : **L'Oued Mafragh.**

Le bassin versant de la Mafragh couvre une surface de 2805 km², soit 86,52 % de la superficie totale du bassin des côtières Constantinois-Est. La forte pluviosité et la topographie (moyenne de 10 à 20 m au-dessus du niveau de la mer) sont la cause du mauvais drainage de la plaine.

La répartition des communes :

- 13 communes sont entièrement incluses dans le bassin de la Mafragh.
- 07 communes sont entièrement incluses dans le bassin d'oued Seybouse.

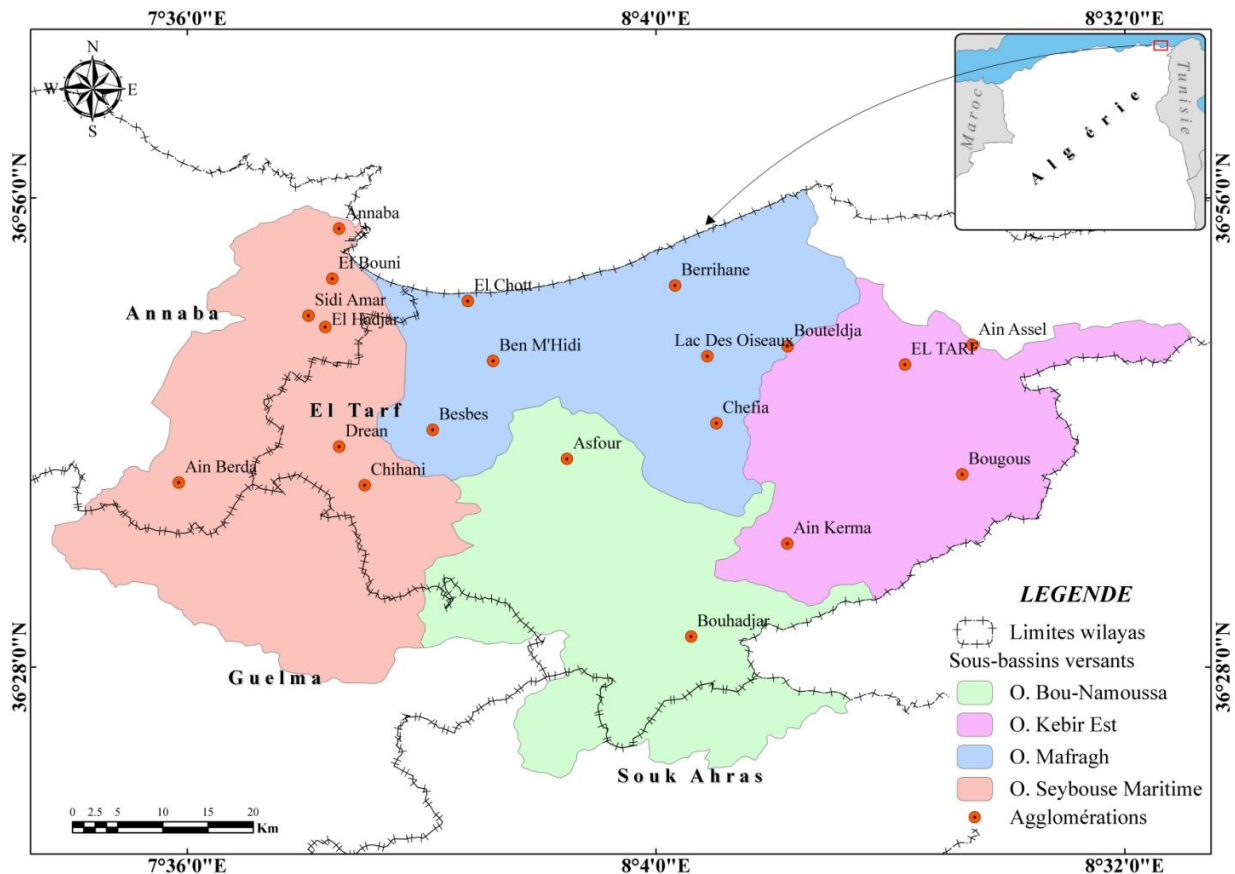


Figure II.1 : Carte situation géographique des bassins versant de l'inter-région Annaba El Tarf (basse Seybouse – La Mafragh).

II.2. Aperçu Socio-économique

II.2.1 Principales agglomérations urbaines de la région d'étude

La zone d'étude se trouve à la région du Nord-Est, elle est caractérisée par une agriculture intensive, un développement industriel important et une population qui s'accroît rapidement (Sadoune, 2012), en 2010 il comptait 892 253 habitants, répartis à travers les bassins de la zone d'étude (7 communes de 586 869 habitants soit 85,41 % du total de la wilaya d'Annaba, et 13 communes 305 384 habitants soit 71,90 % du total de la wilaya d'El Tarf). Les données disponibles sont celles de l'actualisation du plan d'eau 2010 (PNE, 2010) suite à un traitement de l'information et données population publiées par l'office nationale de statistique (ONS) à partir des recensements généraux de la population et de l'habitat (RGPH) de 1966 à 2008.

Les plus fortes concentrations urbaines se situent à Annaba (260 038), El Bouni (128 584), Sidi Amar (87 159), El Hadjar (38 645), Besbes (48 146), Drean (38 914), Echatt (35 847), Ben M'hidi (34 802), El Kala (29 269), El Tarf (26 771).

A l'échelle du pays, selon le PNE les différents indicateurs plaident en faveur d'un soutien du rythme d'accroissement démographique jusqu'à l'horizon 2020 puis une phase de

stabilisation sur la période 2020 – 2025 et une atténuation du rythme d'accroissement à partir de 2025.

II.2.2. Agriculture

La région Annaba-El Tarf se trouve à proximité de la mer méditerranéenne, c'est une région à vocation agricole, caractérisée par une grande variété de cultures (agrumes, poiriers, néfliers, cognassiers, sorgho, pêches, grenadiers, melons, pastèques, tomates industrielles et autres cultures maraichères).

II.2.3 Tourisme

Le potentiel touristique à travers la wilaya d'EL-TARF et Annaba riches et variés de nombreux sites : un littoral de 140 km de long, divers sites de zones humides (lacs, oueds, barrages, marais, deltas, source étangs,...), des forêts immenses qui couvrent 58% du territoire des deux wilayas.

Tableau II.1 : Situation des 9 agglomérations du littoral d'Annaba-El Tarf qui accueillent des visiteurs supplémentaires (PNE, 2010).

wilaya	agglomération	Pop 2008	Catégorie	Surcroît de la	Population estivale
				%	additionnelle
El Tarf	El Kala	24 189	C	100%	24 189
	Sidi Embarek	4 714	C	100%	4 714
	Echatt	20 787	E	20%	4 157
	Total	49 691			33 061
Annaba	Gherbi Aissa	754	A	500%	3 770
	Sidi Salem	69 295	E	20%	13 859
	Refes Zahouane	2 110	A	500%	10 550
	Annaba	253 968	E	20%	50 794
	Seraidi	6 249	D	50%	3 125
	Chetaibi	5 211	C	100%	5 211
	Total	337 587			87 308

L'incidence des populations supplémentaires liées à l'activité touristique est significative mais pas extraordinaire ; elle représente finalement un surcroît de 120 369 habitants environ 12,33 % du total. Cependant la demande en eau touristique prend une signification particulière au cas par cas des communes qui subissent des pointes saisonnières très fortes, allant jusqu'à multiplier leurs besoins par cinq et plus.

II.2.4. Industrie

Avec le complexe sidérurgique d'El Hadjar et les diverses unités industrielles localisées autour de la ville d'Annaba, comme l'industrie lourde (Sider, ESPAT, SNM (Société nationale de métal) SNVI (Société nationale des véhicules industrielles), l'industrie pétrochimique (ASMIADAL), l'industrie agro-alimentaire (Orelait) ainsi que de nombreuses (PMI) (Petites et moyennes industries), elles occupent dans la région une place importante constituant un pôle industriel et considéré parmi les régions des gros consommateurs d'eau.

La wilaya d'El Tarf a connu durant ces dernières années la réalisation de quelques unités industrielles et leur fonctionnement est largement développé qui relèvent de la petite et moyenne industrie (Affoun, 2006).

II.3. Aspect géomorphologique

La géomorphologie de La région d'étude est formée par une chaîne montagneuse qui fait partie essentiellement de l'Atlas Tellien qui se présentent comme un bourrelet longeant et dominant la mer méditerranée depuis Bejaïa jusqu'à la frontière Tunisienne, des plaines et par des bassins versant, ces formes sont liées principalement à la géologie, l'accumulation des sédiments alluviaux et éoliens pendant le Quaternaire, à la tectonique qui a affecté la région ainsi qu'à l'érosion superficielle (précipitation et ruissellement).

II.3.1. Principales formes

II.3.1.1. Plaines Littorales

II.3.1.1.1. Plaine d'Annaba

La grande plaine d'Annaba est drainée par les deux grands oueds, au Sud l'oued Seybouse et au nord l'oued Bounamoussa, La plaine d'Annaba est limitée au Nord par l'inclinaison du massif de l'Edough et au Sud par l'anticlinal de la chaîne numidienne. La partie Est de la plaine correspond au bassin du secteur aval de la Mafragh, à l'Ouest, la Plaine de Ben M'hidi, qui fait partie de la grande plaine de Annaba, sa topographie est relativement régulière, trois secteurs distingués qui présentent chacun des formes différents :

- La basse plaine de forme inclinée légèrement bombée dans laquelle s'encaisse l'oued Seybouse, les bordures où on peut observer des glacis et le littoral ou quelques formations quaternaires sont visibles (Belhamra, 2001 ; Habes, 2006).
- Dans la partie sinueuse on peut observer deux terrasses :
- La basse terrasse sablo limoneuse constituant le niveau général de la plaine d'Annaba, la très basse terrasse existe dans la région de Dréan, et c'est dans celle-ci que sont dessinés les méandres et les bras morts de la Seybouse ; qui disparaît en aval.
- La basse terrasse sableuse de la Seybouse est à une altitude de 506m. Elle vient butter contre un cordon dunaire de sable blanc et haut d'environ 10m, cette dune naît derrière le port.
- A l'Est et à l'Ouest, la basse terrasse sableuse de la Seybouse disparaît pour laisser la place à des dépressions de 2 m d'altitude et formations argileuses noires (marais Boukhmira près de l'aéroport d'Annaba).

La plaine d'EL Hadjar occupe la partie Est du fond de la cuvette du Lac Fetzara et se prolonge par celle de Annaba, elle est reliée au Lac Fetzara à partir de l'Oued Méboudja.

La plaine d'ELHadjar se termine contre le Djbel Belelieta dernier mont du massif de l'Edough, le versant de ce Djebel est rectiligne et abrupt, il s'agit d'un contact par faille.

II.3.1.1.2. Plaine de Boutheldja

La plaine de Boutheldja localisée à l'Est correspond à la basse vallée de l'Oued Kebir-Bougous. Occupée sur ses bordures par des étangs marécageux (Lac des Oiseaux, Région de Righia), elle est légèrement bombée de part et d'autre de l'oued (Affoun, 2006).

II.3.1.2. Cordon Dunaire

Un cordon dunaire s'étend de l'embouchure de la Seybouse jusqu'au Cap Rosa constituant un grand massif dunaire, peu large et peu épais à l'Ouest, il augmente vers l'est où il atteint 120 m d'altitude et 7 à 8 km de large. Il forme une palissade entre la plaine intérieure et la mer, ce qui gêne le drainage. L'Oued Mafragh est le seul qui peut la traverser.

Des séries de ligne de dunes séparent la grande plaine de Annaba de la méditerranée. Elles dessinent une pente raide vers la méditerranée que vers l'intérieur des terres.

Leur point supérieur (89 m) se trouve à 1300 m de la mer. Vers l'Est, les dunes se développent dans la zone du Cap Rosa avec une largeur de 1,5 km du côté Est de la Mafragh à 15 km vers El Tarf. Le massif dunaire est d'une longueur de 25 km à partir de la Mafragh jusqu'à El Tarf (Affoun, 2006).

II.3.1.3. Les montagnes :

La zone d'étude Annaba –EL TARF est caractérisée par deux montagnes principales :

La montagne de l'Edough dans la wilaya d'ANNABA et les montagnes de la Cheffia dans la wilaya d'EL TARF.

- a- **La montagne de l'Edough :** Le massif de l'Edough, situé sur la côte algérienne, dans la région d'Annaba est un massif cristallophyllien, le plus oriental de la côte algérienne, il est limité à son piémont Sud, Est par le lac Fetzara, la plaine d'Annaba et la mer Méditerranée, à l'ouest ce massif est nettement séparé des reliefs situés au Nord-Ouest par la vallée de L'Oued EL Aneb. Sa masse importante est prolongée en direction du Nord à 5° EST la ligne de crête partiellement rectiligne longue de 26 km. Débute au Nord du Lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600 m pour cumuler à 1800 m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867 m vers Seraidi, elle s'abaisse en suite régulièrement jusqu'au Cap de garde au Nord de la ville de Annaba.
- b- **Les montagnes de la Cheffia :** Les montagnes de la Cheffia qui surplombent la partie aval du bassin d'El Mafragh constituent une barrière topographique Est-Ouest, elles présentent au-dessus de la plaine de Annaba des altitudes adjacentes les 450 m, dominant par des massifs de 700 à 900 m d'altitude (Djbel Bled Gherfie 996 m) à l'Ouest et Djebel Rhona 1202 m à l'extrême Nord-Est (Frontière Algero Tunisienne)

II.3.2. Bassins versants

La région d'étude se situe dans les deux bassins versants exoréiques : le sous bassin de la Seybouse (oued Seybouse maritime, code 14-06) appartient au bassin de la Seybouse,

wilaya d'Annaba qui a superficie de l'ordre de 1066 km² et les sous bassin de oued Bounamoussa, oued Kebir EST, oued Mafragh (code 03-15 ; 03-16 ; 03-17) appartiennent au bassin du constantinois EST wilaya d'El TARF (fig II.2) avec une superficie de 2805 km².

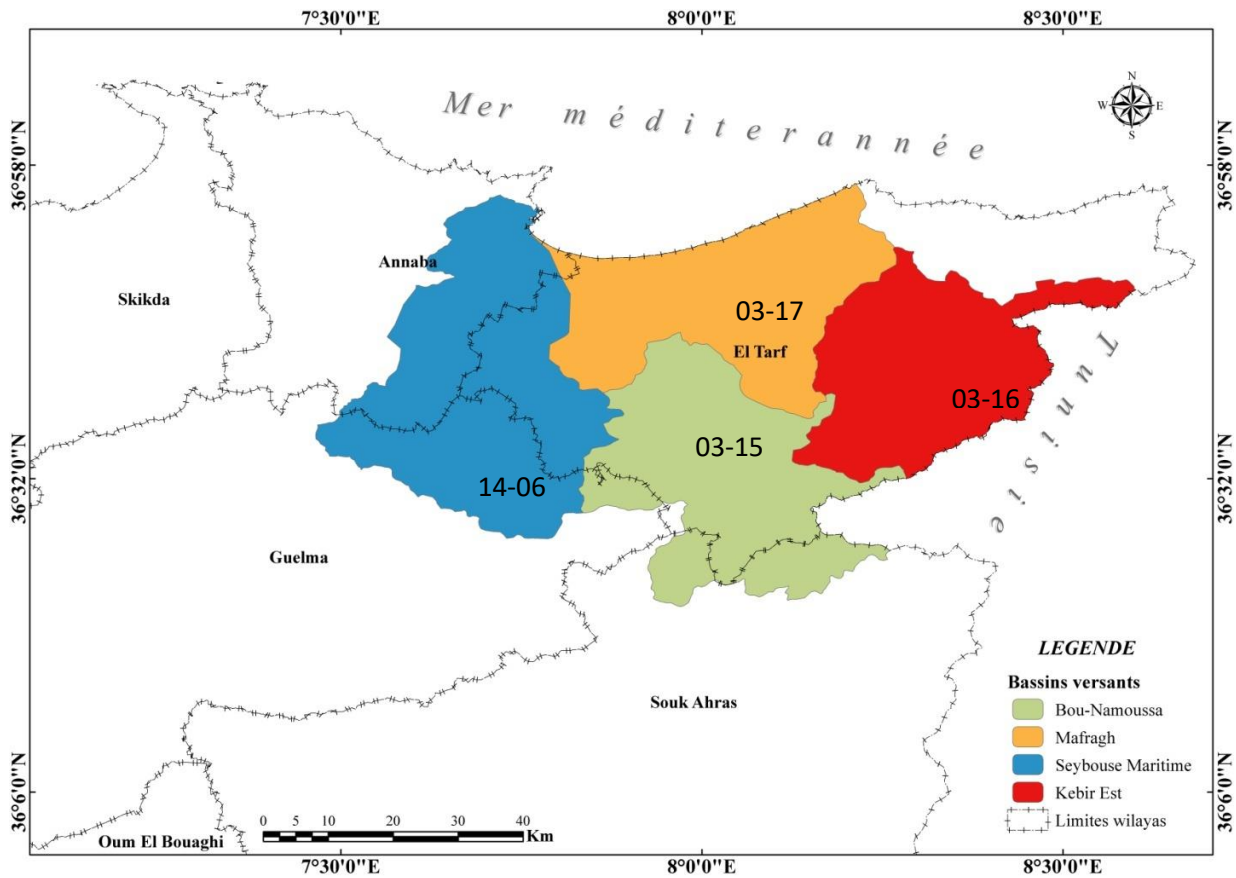


Figure II.2 : Les sous-bassins hydrographiques de la zone d'étude, selon le découpage de l'A.N.R.H.

Tableau II.2 : Noms, codes A.N.R.H. et superficies des bassins et sous-bassins hydrographiques SEYBOUSE et COTIERS CONSTANTINOIS EST.

Bassin	Code A.N.R.H	Sous bassin	S (Km ²)
COTIERS CONSTANTINOIS EST	03-15	Oued BOUNAMOUSA	928
	03-16	Oued KEBIR EST	1073
	03-17	Oued MAFRAGH	804
	03-18	Cotiers LA CALLE	437
	TOTAL B.V		
SEYBOUSE	14-01	Oued CHERF AMONT	1739
	14-02	Oued CHERF AVAL	1193
	14-03	Oued BOUAMDANE	1108
	14-04	Oued SEYBOUSE MOYENNE	817
	14-05	Oued MELAH	552
	14-06	Oued SEYBOUSE MARITIME	1066
	TOTAL B.V		

Zone d'étude

II.4. Mise en place du réseau hydrographique

Deux cours d'eaux principaux drainent la zone d'étude, Oued Seybouse et Oued la Mafragh, ce dernier ces principaux affluents sont à l'Est Oued Bougous qui prend le nom de Kebir-Est à la sortie de la montagne et à l'Ouest Oued Bounamoussa.

L'Oued Seybouse draine un vaste bassin de 6471 km², son débit d'écoulement passe de 1 m³/s en amont à 16 Hm³/s en aval pour une année moyenne. Son débit solide de l'ordre de 1.300.000 tonnes/an, l'apport moyen annuel de l'oued Seybouse est estimé à 400 Hm³, compte tenu des volumes régularisés par les deux barrages édifiés à l'amont à savoir :

- Barrage de Hammam Debagh sur l'oued Bouhamdane, d'une capacité de 220 Hm³ et régularise un volume de 55 Hm³/an. Il est mis en service en 1987.
- Barrage de Foum El-khanga sur l'oued Cheref, d'une capacité de 157 Hm³ et régularise un volume de 30 Hm³/an. Il est mis en service en 1995

Oued Méboudja, le collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et l'oued Seybouse. Il draine une superficie de 203 km² et constitue le collecteur des eaux du bassin versant du lac Fetzara d'une superficie de 515 km² et du bassin versant de l'oued Ressoul, avec un maximum de 20 m³/s. Il présente une crue quinquennale de 20 m³/s (Benoune et al., 1986).

Oued Bougous draine le versant Algérien à partir des crêtes de la frontière Algéro-Tunisienne, il suit un tracé très varié et passe de petits bassins en petits bassins par des secteurs de vallées étroites avec parfois de courtes gorges.

Oued Bounamoussa draine la partie Ouest du bassin de la Mafragh. Il descend depuis Djebel M'Sid, il recoupe les structures et s'adapte localement aux accidents tectoniques, ce qui lui donne un tracé en baïonnette. Les oueds dans sa partie centrale sont surimposés à partir de la surface fin tertiaire (Marre, 1987).

Sont : Oued Zitoun, qui prend naissance dans la fenêtre de direction SW-NE d'Ain Karma qu'il dépêtre au niveau de Zitouna sous le nom d'Oued Bouhaloufa, pour parcourir en gorge les grés numidiens vers Boutheldja.

Oued Cheffia, prend naissance dans Djebel Nador à l'Est et Kef Bni Fradj à l'Ouest, coule vers le Nord-Est en parcourant les grés numidiens, avant d'arrivée à Oued Boulathane.

II.5. Conclusion

L'aspect géomorphologique de la région d'étude a montré l'origine et la participation de chaque forme de relief sur le fonctionnement de son réseau hydrographique. La lithologie joue un double rôle, d'une part sur le régime des cours d'eau et d'autre part sur l'érosion et le transport solide. C'est dans ce contexte que nous aborderons dans le chapitre suivant l'aspect géologique de la zone d'étude qui montre son influence sur le tracé hydrographique.

Chapitre III :
Aspect géologique et hydrogéologique de la
région d'étude

III.1. Introduction

Le tracé hydrologique d'un bassin versant, les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles sont fortement influencés par la géologie. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs.

La région d'étude a fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie, Nord Orientale et fait l'objet de plusieurs études géologiques, nous nous sommes appuyées sur des études antérieures, notamment celles de Villa (1980) et Marre (1987), qui montrent notre terrain d'étude de la disposition qui suit :

Des formations antérieures à la mise en place des nappes (le Numidien, Le Tellien) et des formations post-nappes (les formations récentes) (Marre, 1987).

Toutes ces unités constituent des alternances de terrains d'origine diverses du fait du charriage de ces masses de terrain, parfois sur de très grandes distances. Les formations qui les constituent sont complètement disloquées, d'où la complexité des traits tectoniques. Ces formations sont principalement d'âge tertiaire et quaternaire (fig III.1).

III.2. Les Formations Post-Nappes

III.2.1. Plaine d'Annaba/Boutheldja

Depuis la fin du Tertiaire, la plaine d'Annaba correspond à un bassin d'effondrement (Graben) dans lequel subsistent quelques petits Horsts qui forment aujourd'hui les massifs gréseux du centre de la plaine (Denden et Daghoussa).

La plaine d'Annaba est constituée essentiellement par des formations d'âge Mio-Pliocène et quaternaire, représentées par les faciès suivant :

- a- Faciès marin : plus ancien, caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires.
- b- Faciès fluvial : bien développé, formé de galets, de sable, d'argile le long des oueds.
- c- Faciès continental : il est lié aux dépôts des fosses d'effondrement. Ces derniers sont déterminés par la prospection sismique, et sont au nombre de deux (Sonatrach & Hani, 2003) :

*-L'une, orienté S-N ou Fosse de Ben Ahmed.

*-L'autre, orienté SW-NE ou Fosse de Ben Mhidi.

Ces deux fosses sont séparées par l'élévation de Daghousa. Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène.

L'histoire de la Plaine d'Annaba remonte probablement au début du Miocène supérieur qui coïncide avec la régression de la Mer Miocène vers le Nord. Ce changement de niveau de base local a accentué la torrencialité, favorisant un charriage important des matériaux vers le paléorivage et le remplissage des fosses de la plaine.

La géométrie des fosses a largement conditionné le remplissage par les apports de conglomérats. A mesure que le remplissage s'accroît, la vitesse de la subsidence augmente, donc épaissement de la partie médiane, et amincissement sur les bords.

En effet, cette subsidence est confirmée à la surface par l'absence totale de niveau de terrasse dans la plaine. Cependant, des terrasses témoins sont restées perchées aux pieds des massifs gréseux dominant la plaine.

III.2.1.1. Remplissage Plio-Quaternaire

a) Pliocène

Au pliocène débute le retrait de la mer et le soulèvement probable de l'arrière-pays Annabi. Ceci s'est traduit par un abaissement des niveaux de base locaux qui a certainement accentué la torrencialité des oueds, tributaire de la Méditerranée (Joleaud, 1936).

b) Fin du Pliocène

A la fin du Pliocène, il semble que la morphogenèse est restée très active sur le continent. La plaine voyait s'accumuler des masses de matériaux très importants.

Cette sédimentation, beaucoup plus irrégulière, discontinue en épaisseur, donne des variations latérales et verticales de faciès extrêmement rapide.

Il est probable que la subsidence accélérée de la plaine a contribué aux changements brutaux des matériaux charriés. En effet, il est vraisemblable que la Seybouse coulait autrefois vers le Nord-Est suivant l'axe de la dépression de Ben Mhidi et participait à son remplissage par les conglomérats. La subsidence beaucoup plus accélérée de la fosse de Ben Ahmed d'orientation Nord-Sud a abouti à sa capture.

L'observation de la carte topographique montre que le tronçon de la Seybouse situé dans le prolongement de la dépression de Ben Mhidi est constitué d'une série de méandres. En quittant cette zone de perturbation l'oued montre un tracé rectiligne malgré la proximité de l'embouchure.

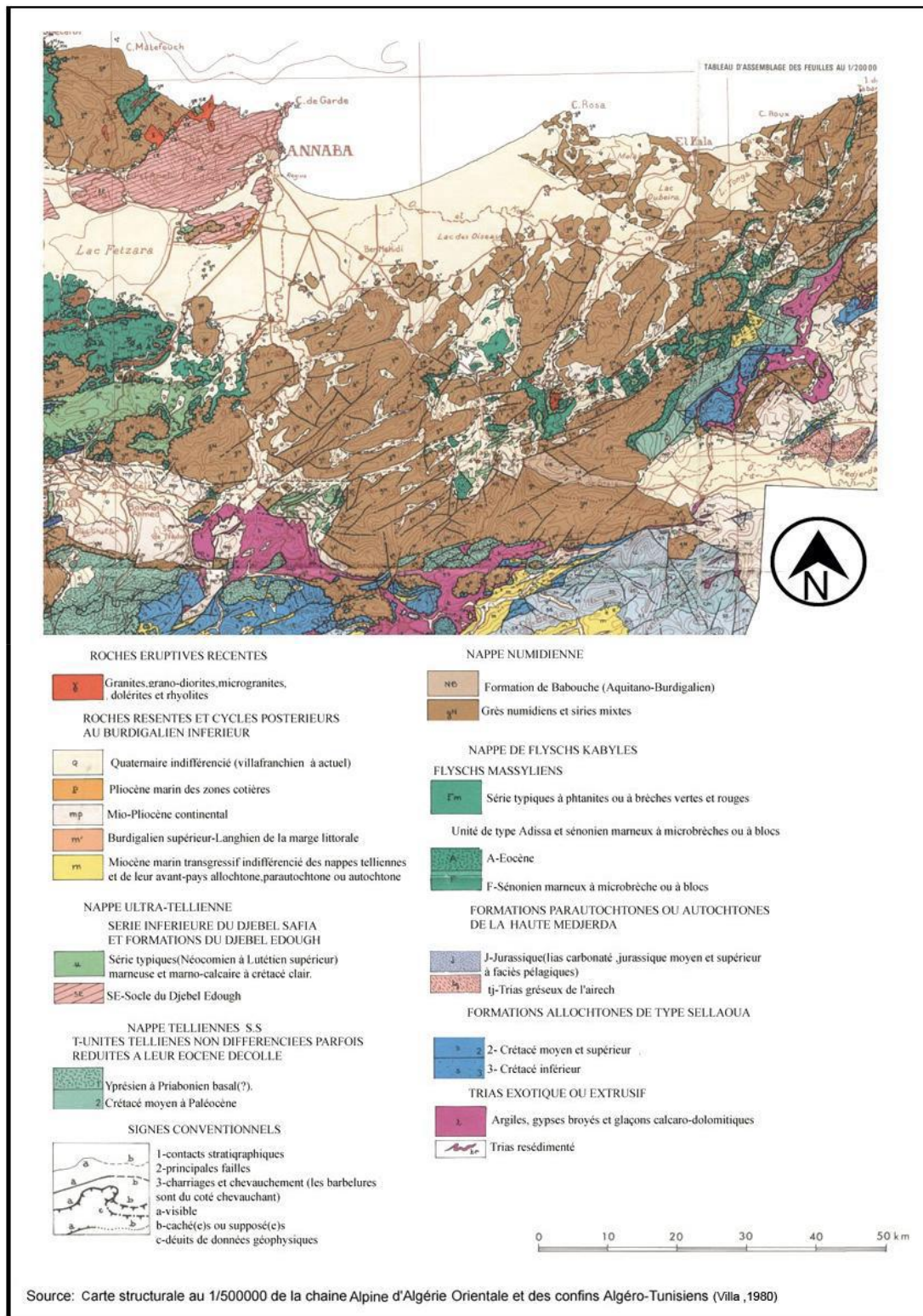


Figure III.1 : Carte géologique de l'extrême Est Algérien.

III.2.1.2. Remplissage Quaternaire

La subsidence de la plaine, toujours active, a empêché les oueds de s'encaisser et de dégager des terrasses qui nous permettent de suivre l'évolution morphologique de la plaine pendant le quaternaire.

Il est cependant clair que cette plaine a connu une alternance de périodes humides caractérisées essentiellement par la multiplication des lacs où se décantent des sédiments argilo-limoneux de couleur rouge-grisâtre et des périodes sèches caractérisées par une déflation importante qui a comblé ces dépressions asséchées. Il en résulte des lentilles alimentées par le vent et réparties selon la topographie héritée de la période humide.

C'est cette alternance des épisodes pluvieux et des inter-pluvieux, qui a déterminé la variation du niveau de la mer, et qui est certainement à l'origine de l'avancée de la mer sous forme de rias et de lagunes, d'où des épaisseurs assez importantes de sable, qui apparaissent dans certains forages et qui renferme la nappe phréatique de la plaine.

III.2.2. La formation des dunes

Cependant, les dépôts du massif dunaire résultent de l'érosion des paléo-reliefs argilo-gréseux et gneissique, qui ont été ravinés par les cours d'eaux, conduisant une grande quantité de matériels détritiques vers la mer. Le sable, roche détritique, provient de la délapidification des grés numidiens. Il est blanc ou jaune clair, fin, meuble, et renfermant une proportion d'argile qui augmente en profondeur.

La formation de ces dunes de sable a été effectuée en deux cycles de régression et transgression marines (Nouacer, 1993).

Le premier cycle (régression), a donné des dunes anciennes qui ont été lithifiées en bordure de la mer. C'est dans cette formation que les paléotalwegs se creusaient en conservant jusqu'aujourd'hui l'allure qu'ils avaient, avant la mise en place des sables.

Le second cycle (transgression), moins remarquable, a abouti à la formation des dunes récentes et actuelles suivi par une phase d'érosion aboutissant aux éboulis récents provenant des massifs numidiens. Par la suite, ces dunes ont été fixées par une végétation jusqu'à ce qu'elles deviennent inactivés.

III.2.3. Les Eboulis de Pente

Tous les versants des vallées des Monts de la Cheffia portent des coulées qui sont souvent le résultat d'un important déséquilibre (Marre, 1987). La tendance au déséquilibre a existé pendant tout le quaternaire où les versants furent toujours favorables aux glissements et aux coulées, d'autant plus que les conditions climatiques étaient particulièrement froides et humides. Après l'important creusement que les cours d'eau ont réalisé en sapant la base des versants, la pente s'accélère alors et la force de la pesanteur est plus forte que les forces de cohésion des roches. Des dépôts d'éboulis tapissent leurs cicatrices de départ permettent de les situer dans le temps au début de la dernière période froide du Quaternaire (Marre, 1987).

C'est cette humidité qui est responsable des altérations, du colluvionnement, et aussi des coulées des versants.

Les versants dominés par les abrupts sont recouverts d'éboulis de pente et de colluvions ; ces derniers proviennent de la dégradation des escarpements gréseux et du remaniement des formations d'argiles sous-numidiennes.

III.3. Les formations Anté-nappes : Ensemble des unités allochtones (flyschs et Nappes)

L'orientation NE –SW est le trait structural dominant des formations anté-nappes. Ce sont des formations géologiques sédimentaires dont on note :

III.3.1. Nappe numidienne (Argiles sous-numidiennes)

Le terme numidien est actuellement conservé en tant qu'appellation de faciès. Il désigne la série grés-argileuse principalement Oligocène. Cette formation est largement représentée dans notre région d'étude. Elles affleurent à la base de la majeure partie des Monts de la Cheffia, au Sud-Est de Boutheldja (Djebel Hdjar Siah, Bourdim). Ces formations limitent les alluvions de l'Oued Bougous à l'Est et l'Oued Guergour à l'Ouest. Ces faciès affleurent généralement dans la zone d'Ain Assel. Ils ne sont pas visibles sur le terrain à part quelques petits affleurements, car la végétation les recouvre.

a- Les Grés Numidiens

Ce sont des grés quartzeux plus au moins consolidés de couleur rouge à jaunâtre due à la présence de grains de sables et de fer. Souvent, ces bancs de grés sont lenticulaires passant latéralement aux argiles d'âges Aquitaniens.

L'Aquitaniens présente une intense fracturation, ce qui favorise la circulation des eaux souterraines. Cette formation affleure dans toute la région constituant les bordures des plaines et le substratum des formations alluvionnaires sur les deux rives de l'Oued Kébir. On les rencontre également au Sud des Monts de la Cheffia.

b- Les Argiles Supra-Numidiennes

Elles représentent la partie supérieure de la série numidienne d'âge Burdigalien qui se trouve souvent en alternance avec les grés sous-jacents. On peut les rencontrer souvent dans les Monts de la Cheffia.

III.3.2. Les Flyschs Massyliens :

Ce terme a été proposé par Raoult (Raoult, 1974) au Nord du Kef Sidi Driss (Constantine) pour une série allant du Néocomien au Lutétien. Découvert en 1946 dans les Monts de la Cheffia par MARIE et LAMBERT (Sonatrach, BEICIP, 1969 in Affoun, 2006). On les rencontre à plusieurs endroits dans les Monts de la Cheffia en série monotone. Ils sont constitués essentiellement par les marnes feuilletées avec de minces bancs de calcaires ou en épaisses séries d'argiles grises, comportant des intercalations de plaquettes gréseuses.

L'âge du flysch est essentiellement Sénonien, mais le terme plus général de flysch à micro-brèches est retenu puisque cette formation pourrait ne pas se limiter au Sénonien. En effet, certains niveaux sont datés du Lutétien et appartiennent à cette formation.

a) Les Flysch à Micro-Brèches

Les flysch à micro-brèches affleurent de part et d'autre de l'Oued Cheffia en série monotone de marnes feuilletées et de minces bancs de calcaires brun-roux. Aussi, dans les

études géologiques de l'emplacement du barrage de Cheffia et qui ont été effectuées par Moussu (Moussu, 1954 in Affoun, 2006), ils sont décrits comme une série continue comprenant le Campanien-Maestrichtien, le Paléocène, l'Eocène Inférieur et Supérieur et l'Oligocène.

III.3.3 Le Tellien

Définis par Durand-Delga (1969), Il se caractérise par une puissante série marneuse s'étendant du Crétacé inférieur au Lutétien inférieur, au milieu de laquelle s'intercale l'unité caractéristique des calcaires noirs fétides datés (Yprésien-Lutétien Inférieur). Ces calcaires noirs fétides ont un faciès classique et sont largement répandus en Algérie du Nord. Il s'agit d'un calcaire en bancs réguliers de 0,5 à 1 m, compacts argileux, comportant de minces lits marneux. L'épaisseur de cette unité est difficile à estimer et peut être de l'ordre de 100 m. Cette formation est très spectaculaire à Sidi Trad (Sud-Est de Zitouna). On la rencontre aussi à Bouhadjar et Ain Karma.

III.4. Paléographie

La structure actuelle est le résultat d'une succession de mouvements, dont les plus marquants ont joué sensiblement dans le même sens et la même direction, d'où la difficulté de séparer les phases tectoniques les unes des autres.

L'histoire tectonique de la région du bassin versant de la Mafragh peut se schématiser comme suit :

- 1) Mise en place Post-Eocène supérieur de l'unité Ultra-Tellienne qui s'est déplacée tangentiellement du NW vers le SE ou du Nord vers le Sud sur l'ensemble Tellien incliné selon la même direction.
- 2) Mise en place des nappes Telliennes charriées synchrones à un déplacement du matériel Numidien.
- 3) Mouvements de réajustement isostatique au Miocène supérieur, déterminant des accidents SW-NE. C'est probablement à cette époque que s'est effondrée la plaine au Sud de Annaba, comblée rapidement de sédiments en partie continentaux.
- 4) Phase de distension Plio-Quaternaire orientée SW-NE accentuant les mouvements chevauchants et favorisant le rejet des failles directionnelles.

III.5. Les Caractéristiques Hydro-Géologiques

Pour une meilleure maîtrise de la ressource en eau souterraine dans l'espace étudié, il est nécessaire d'identifier les différents systèmes aquifères rencontrés (fig III.2). Le système hydrogéologique de la Mafragh peut être schématisé de la façon suivante (Derradji, 2004) :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Des nappes profondes reconnues par les forages profonds.

III.5.1. Les Différentes Nappes du Système Aquifère de la zone d'étude

III.5.1.1. Plaines d'El Asfour

Le bassin d'El Asfour correspond à une plaine alluviale avec un fond parfaitement plat.

a- Nappe Semi-captive

La Nappe semi-captive repose sur un substratum imperméable argileux par endroit et limoneux par d'autres. Les sables argileux forment le toit semi-captif de la nappe, et les graviers constituent le réservoir de cette nappe avec une épaisseur qui varie de 15 à 20 m.

b- Nappe superficielle

Cette nappe est contenue dans les cailloutis, entre cette nappe alluviale et celle des graviers se forme un horizon sablo-argileux semi-perméable (fig III.2). Dans certaines zones de la plaine, les deux nappes sont totalement confondues en une seule à surface libre. L'alimentation et le drainage de la nappe sont en étroite liaison avec l'Oued Bounamoussa (Labar, 2003).

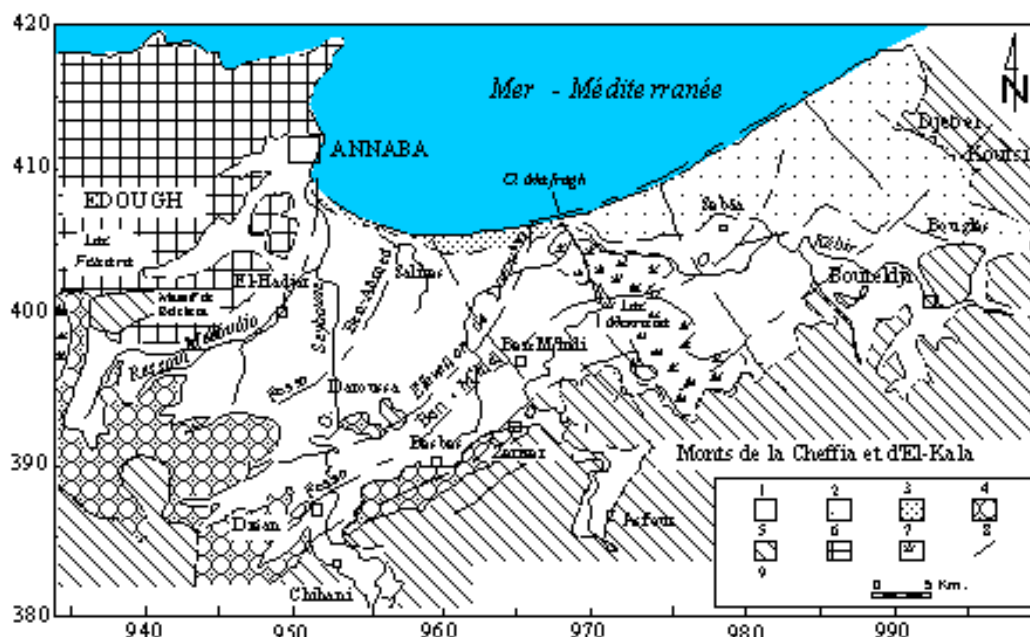


Figure III.2 : Extension des différents aquifères dans Annaba-el Tarf (in Hani, 2003).

1 : Nappe des formations superficielles ; 2 : Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja ; 3 : Nappe des sables du cordon dunaire ; 4 : Nappe des alluvions de haut niveau ; 5 : Grès et argiles du Numidien ; 6 : Formations métamorphiques (nappe des cipolins) ; 7 : Marrécages ; 8 : Failles ; 9 : Fosses.

III.5.1.2. Plaine de Boutheldja

a- Nappe Libre du Massif Dunaire

Le long du littoral, un énorme massif dunaire s'amplifie de l'Ouest vers l'Est. Il prend alors une orientation NW-SE conforme aux vents dominants. Le massif dunaire de Boutheldja forme une nappe libre reposant sur un substratum argiligréseux imperméable à semi-

perméable. Il est constitué de sables éoliens épais de 20 m (Est) à 120 m (Ouest) souvent à intercalations argileuses sous formes de lentilles (Kherici, 1985 ; Ramdani, 1996).

Cette nappe exploite des relations souterraines perméables avec la Méditerranée au Nord, les terrasses de l'Oued El Kébir-Est et la nappe profonde des graviers dans lesquelles elle se décharge (limite perméable de fuite) au Sud, les marécages à l'Ouest. Elle jouit de deux limites à Est, l'une perméable au niveau des grés numidiens et l'autre imperméable à la limite des formations argileuses (fig III.3). En plus des précipitations qui constituent la principale source du massif dunaire, les marécages (Marais Righia et Oum-Agareb), les eaux qui ruissellent des sommets numidiens et les affluents de L'Oued El Kébir-Est sont des sources additionnelles.

Cet aquifère est considéré comme vulnérable du fait de la présence de la mer et des marécages salés à son pourtour (Derradji, 2004).

La profondeur de la nappe des dunes varie de 2 à 8 m, et les variations piézométriques de 0,7 à 3 m. La nappe est alimentée par l'infiltration des précipitations (25- 40 %), et les eaux qui ruissellent des sommets numidiens ont un débit d'environ 1100 l/s ou 35.10^6 m³/an (ENERGOPROJECT-ENHYD, 1992 in Affoun, 2006).

Les eaux du massif dunaire sont captées et exploitées par 28 forages qui fournissent 600 l/s d'eau.

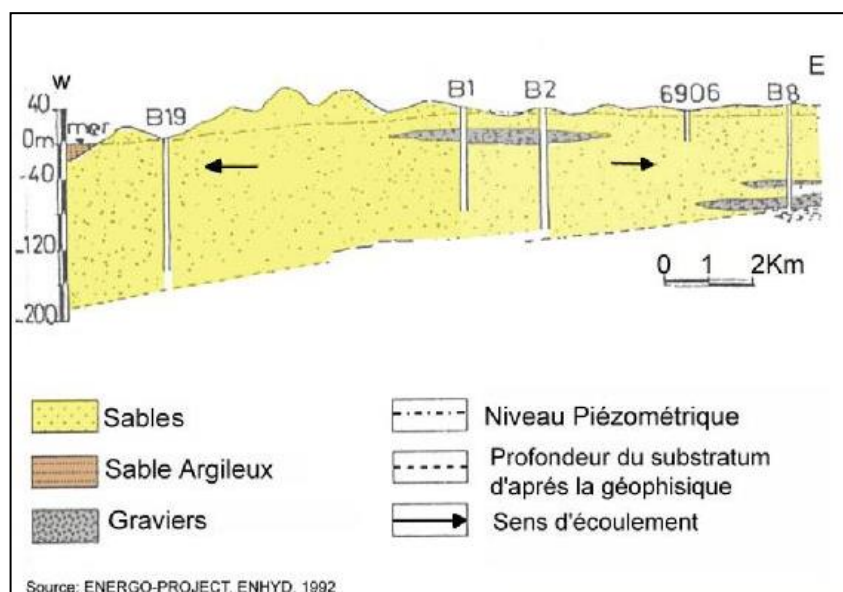


Figure III.3 : Coupe hydrogéologique dans le massif dunaire de Boutheldja (in Affoun, 2006).

b- Nappe captive

Selon la coupe hydrogéologique dans la plaine de Boutheldja (fig III.4), il s'avère qu'il y a un contact entre les sables dunaires et les graviers par passage latéral de faciès qui induit des variations des caractères hydrochimiques, car la nappe du massif dunaire se décharge dans la nappe des graviers. Cette dernière repose sur une couche argileuse assurant l'étanchéité du substratum. Elle est constituée de graviers, galets et sables d'origines

gréseuses issus des formations numidiennes, avec des passages de marnes, le tout surmonté par une couche argilo-limoneuse qui constitue le toit de la nappe captive (Fellah, 1998). Selon la morphologie de l'aquifère, l'épaisseur varie de 50 à 150 m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 7 - 35 l/s.

c- Nappe superficielle

Elle se distingue dans les formations argilo-sableuses et limoneuses et dans les argiles compactes avec un passage latéral de sables fins, d'une épaisseur allant de 40 à 50 m. L'alimentation de cette nappe s'effectue par les eaux de pluie et l'Oued Kébir Est. Selon la carte de fluctuation piézométrique, l'amplitude est de l'ordre de 2,5 m au Sud de la plaine, due probablement au drainage de la nappe par l'Oued Boulathane et le Lac des Oiseaux car les puits de cette zone ont une faible influence sur la nappe. Au centre de la plaine une fluctuation de 2 à 2,5 m due à l'influence des puits et des forages.

III.5.1.3. Plaine d'El Tarf

a- Nappe profonde

Cette nappe s'étend de l'Est vers l'Ouest avec un substratum marneux et un toit argileux d'épaisseur importante, le réservoir est constitué de galets et de graviers. La puissance de la nappe varie suivant la morphologie du substratum de 5 à 15 m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 4,0- 10,0 l/s. (ENERGOPROJECTENHYD, 1992 in Affoun, 2006).

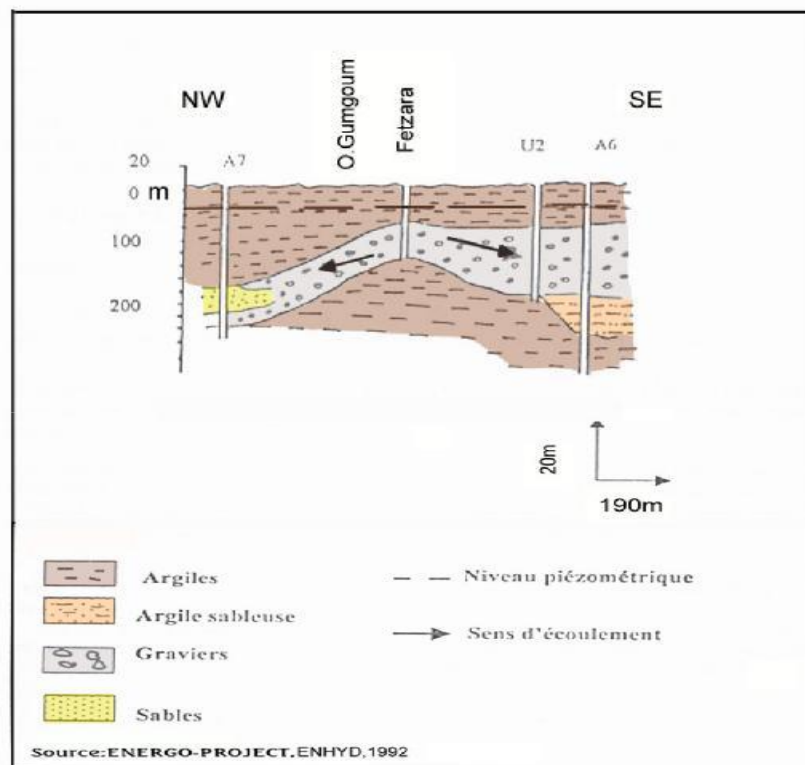


Figure III.4 : Coupe hydrogéologique de la plaine de Boutheldja (in Affoun, 2006).

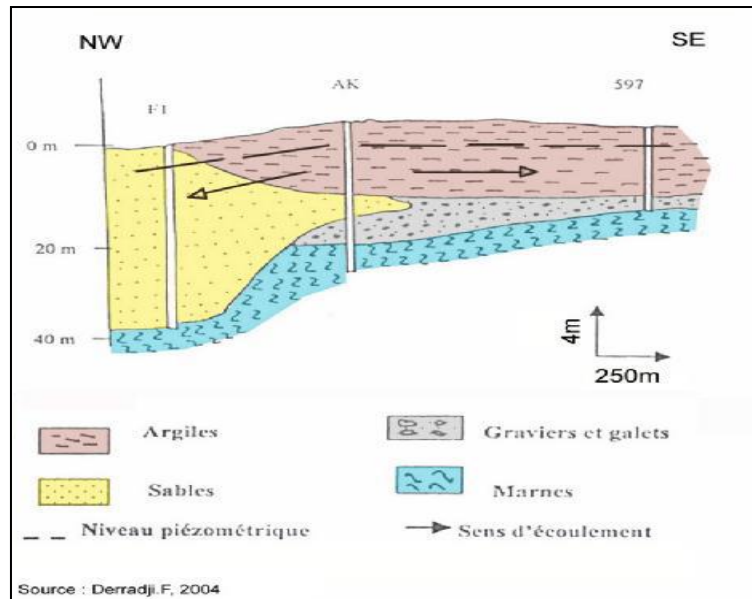


Figure III.5 : Coupe hydrogéologique de la plaine d'El Tarf (in Affoun, 2006).

b- Nappe superficielle

Elle couvre la totalité de la plaine d'El Tarf, elle est contenue dans les formations alluvionnaires et les argiles plus au moins sableuses, elle est séparée de la nappe captive par un horizon argileux qui constitue le toit de la nappe captive et le substratum de cette nappe. Ce sont les précipitations efficaces qui alimentent cette nappe (fig III.5).

Au centre de la plaine la fluctuation est très importante avec une amplitude maximale de 4,5 m, cela est dû à l'exploitation par de nombreux puits, en allant vers le Nord de la plaine la fluctuation diminue ; ceci est peut-être dû au drainage des Oueds : El Kébir-Est et Messida par la nappe. Par ailleurs au Sud-Ouest de la plaine la fluctuation varie de 1,5 à 2,5 m cela est dû à l'alimentation de la nappe par Oued Guergour.

III.5.1.4. Nappe de la Plaine d'Annaba

En réalité les nappes de la plaine d'Annaba sont des nappes qui chevauchent les deux bassins la Mafragh et la Seybouse. Un examen cartographique nous a permis d'estimer que plus de 60 % de la surface géographique des nappes de la plaine d'Annaba se localise dans le bassin de la Mafragh, sachant que la circulation des eaux souterraines n'obéit à aucune limite géographique (fig III.2).

a- Nappe des alluvions récentes et actuelles (superficielle)

Cette nappe couvre la majorité de la plaine d'Annaba, soit une superficie de 320 km². Elle est contenue dans les alluvions récentes et actuelles à texture argilosableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse avec quelques lentilles de sables.

b-Nappe des graviers (profonde)

Cette nappe est située en dessous de l'aquifère superficiel, elle s'étend sur toute la superficie de la plaine. Contenue dans les graviers, sables et galets plio-quaternaires et encaissé dans un bassin d'effondrement. L'épaisseur de l'horizon aquifère est variable de 2 à 70 m d'Ouest en Est et du Sud vers le Nord. Son toit est perméable, semi-perméable à imperméable formé de sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles. A travers ce toit intervient le phénomène de drainance dans la zone centrale (Derradji et al., 2005).

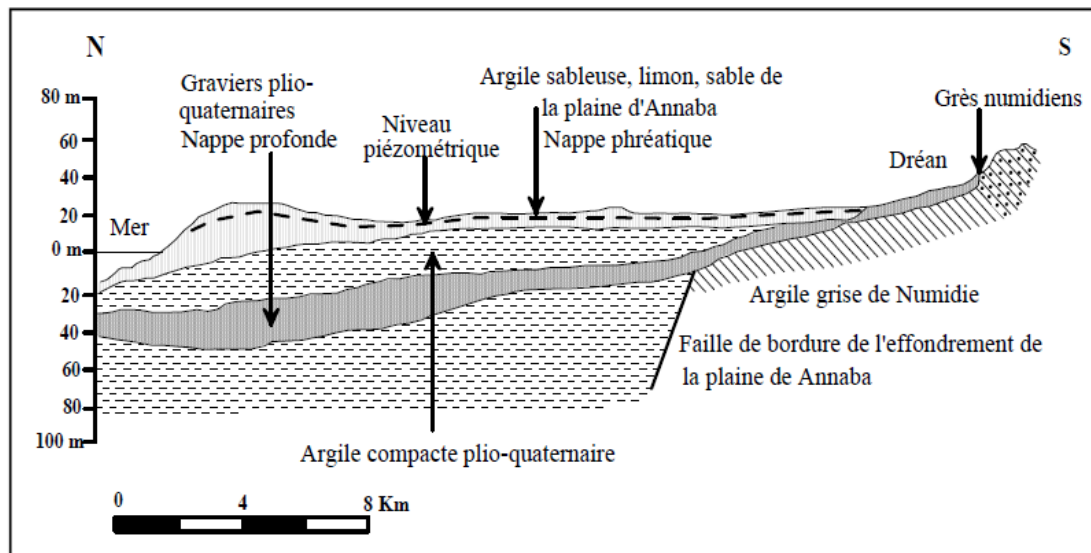


Figure III.6 : Coupe schématique du système aquifère de la région d'Annaba (Derradji et al., 2005 in Zahi, 2014).

III.5.1.4.1 Nappe des alluvions de la haute terrasse

Elle s'étend le long des massifs numidiens à l'Ouest et au Sud de la plaine d'Annaba. Ces alluvions graveleuses et caillouteuses à matrice argileuse ont des possibilités aquifères très limitées.

III.5.1.4.2. Nappe des cipolins

Elle se situe dans les massifs de bordure du Belilieta et de Boukhadra (proche du massif de l'Edough). Elle est contenue dans des lentilles de cipolins, fissurés, existant au sein des gneiss et micaschistes du monoclinale métamorphique du Boukhadra. Ces calcaires sont en contact avec les alluvions de la plaine. Leur superficie est inférieure à 100 ha.

III.5.1.4.3. Nappe des travertins

Elle est mal délimitée. Elle a été localisée dans le secteur compris entre Fardaous, la butte de Daroussa, Chbaïta et la ferme Hallalal Aissa,

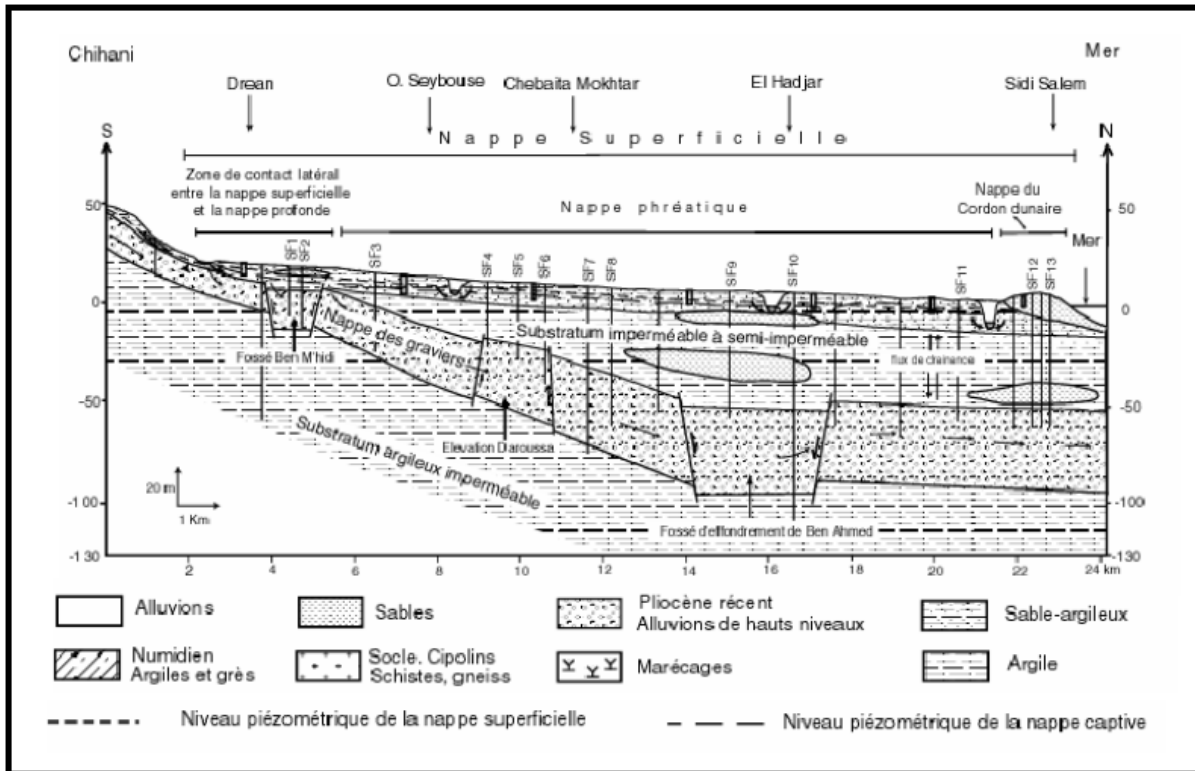


Figure III.7 : Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse (in Debieche, 2002).

III.6. Conclusion

I- De l'aperçu géologique, on peut tirer les conclusions suivantes :

- ❖ Un remplissage de sédiments quaternaire constitue le fond de la dépression tectonique d'Annaba/El-Kala. Les apports de conglomérats, qui sont le plus souvent dus à l'érosion des roches mises en reliefs, viennent remplir cette dépression. Les alluvions récentes recouvrent ces formations argilo-limoneuses.
- ❖ Parmi les conséquences des phases orogéniques de la phase alpine du miocène supérieur, produites dans la plaine d'Annaba et qui continue encore actuellement, il y a un enfoncement progressif des grés Numidiens vers le Nord-Ouest jusqu'à 300 m, sous un remplissage de formations continentales plio-quaternaires. Ce remplissage constitue l'essentiel du réservoir aquifère de la plaine d'Annaba -La Mafragh du fait de sa nature lithologique (Kherici, 1993).

Les formations de bordure (grés numidien, glacis, terrasses) de la plaine sont de moindre potentialité hydrologique. Cependant, elles constituent généralement des zones d'alimentation pour le système aquifère.

II- Les caractéristiques hydrogéologique de la zone d'étude a mis en évidence l'existence d'un important réservoir d'eau souterraine contenue surtout dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable, avec parfois des intercalations argileuses). Cet ensemble est divisé en fait en plusieurs nappes dont les plus importantes (fig III.2) :

1-Un système aquifère constitué du massif dunaire de Boutheldja d'une superficie de près de 180 km² et d'une plaine alluviale résultant des dépôts de l'Oued Kébir-Est et ses affluents d'une superficie de 20 km². Le massif dunaire est essentiellement alimenté par les précipitations et par les reliefs bordant les sables à l'Est (fig III.5) :

2-Au Sud, le passage latéral aux graviers de la plaine de Boutheldja est marqué par de nombreux marécages (nechaats et garaas) d'une superficie de 15 km² ; ceux-ci correspondent au niveau piézométrique de la nappe dunaire.

3-En ce qui concerne la plaine de Annaba d'une superficie de près de 320 km², elle est caractérisé par :

*- Une nappe superficielle exploitée en grande partie par des puits domestiques.

*- Une nappe profonde, reconnue par les forages profonds.

L'analyse piézométrique qui est déjà fait par Derradji (2004), a permis de mettre en évidence le rôle très important des précipitations dans la recharge des nappes. La relation Oued-nappe qui est mixte en plusieurs points a été également montrée. Par ailleurs, il faut souligner que les zones aquifères les plus vulnérables sont celles où le niveau de la nappe est le plus proche du de la surface du sol, et que le milieu non saturé constitue une barrière momentané jouant un rôle de retard sur la migration verticale des polluants de surface. Les nappes superficielles qui jouent un rôle indispensable dans l'alimentation des nappes profondes sont soumises à une exploitation intensive là où l'agriculture le nécessite.

Chapitre IV :
Hydroclimatologie de la région d'étude

IV.1. Introduction :

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude permettent d'expliquer quantitativement l'intensité et la variation du régime hydrologique. Dans ce chapitre nous allons intéresser aux outils statistiques des différents termes du bilan hydrique. L'évaluation de ses différents paramètres climatiques va être effectuée en fonction de la disponibilité des informations au niveau des sites d'observations climatiques pour pouvoir interpréter les phénomènes hydrologiques marqués dans le passé, leur fonctionnement actuel et prévoir leur évolution dans le futur.

IV.2. Source des données et répartition des stations

Nous nous sommes basée sur les données des observations qui ont été faites au niveau des six stations météorologiques : Ain El Assel, Cheffia, Boutheldja, les Salines, Pont Bouchet et Ain Berda (fig IV.1), situées dans la zone d'étude « sous bassin Oued Seybouse et le bassin versant de côtier constantinois Est La Mafragh » sont gérées par L'ANRH et contrôlées par la météorologie nationale.

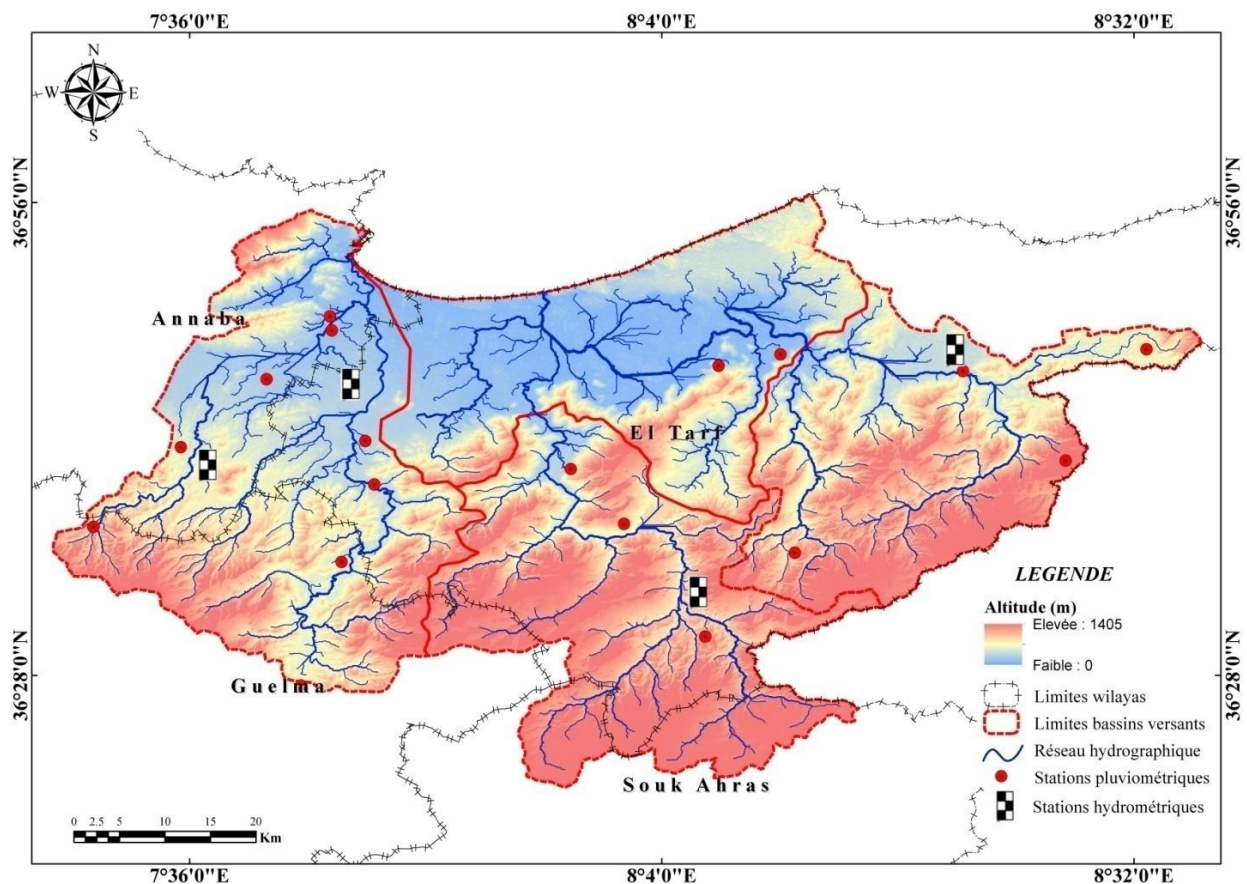


Figure IV.1 : Réseau hydrographique, situation géographique des stations pluviométriques hydrométriques de la zone d'étude.

Nous avons choisi ces stations comme base de références : Ain El Assel et Boutheldja couvrent la partie Est de la zone d'étude, la station de Cheffia pour la partie centrale du bassin versant de côtier constantinois Est, la station d'Annaba les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda pour le sous bassin de Oued Seybouse qui couvrent la partie Nord et Nord-Ouest de la zone d'étude. Les coordonnées des stations météorologiques sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 : coordonnées géographiques des différentes stations météorologiques (ANRH)

Station	Longitude Est	Longitude Nord	Altitude	Période
Ain Assel	8° 2' 2''	36° 35' 25''	32	1968/2003
Boutheldja	8° 12' 22''	36° 47' 22''	20	1969/2012
Cheffia Barrage	x= 942.250	y= 375.600	170	1974/2003
Les salines	7° 46' x= 955.80	36° 54' y= 403.80	3	1968/2012
Pont Bouchet	x= 950.25	y= 402.80	6	1975/2010
Ain El Berda	x= 937.60	y= 387.75	73	1975/2010

IV.3. Facteurs climatiques

IV.3.1. Précipitations

La pluviométrie demeure le facteur le plus important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence aussitôt sur le régime des cours d'eaux et l'alimentation des nappes aquifères. A cet effet, nous lui consacrons plus d'intérêt.

Notre région d'étude est classée parmi les régions les plus pluvieuses dans notre pays l'Algérie, pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries

pluviométriques pour l'étude des relations pluies/débits sur une période d'observation qui s'étale sur plus de 30 ans allant de 1974 jusqu'aux 2012.

IV.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

Le tableau suivant (tab IV.2) donne un aperçu sur la répartition des précipitations moyennes mensuelles au niveau des sept stations (Ain El Assel, Cheffia, Boutheldja, les Salines, Pont Bouchet et Ain Berda).

Tableau IV.2 : Précipitations moyennes mensuelles des stations.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.
Ain Assel	46,90	83,79	120,05	130	121,19	99,86	78,99	77,6	37,16	11,65	3,50	8,25
Boutheldja	45,36	85,27	121,47	130,72	127,28	92,93	85,84	69,58	44,26	10,34	4,14	8,84
Cheffia	35,41	62,92	120,63	112,51	118,14	97,17	81,18	86,29	55,30	13,53	3,84	9,75
les Salines	38,65	68,01	80,71	103,01	89,65	76,78	69,11	58,38	40,82	13,80	3,07	9,01
Pont Bouchet	38.8	55.5	87.2	100.5	89.5	66.2	60.3	57.9	34.8	12.2	2.4	9.2
Ain Berda	40.23	54.13	79.59	97.32	94.01	68.10	65.90	63.63	42.53	13.60	2.59	9.32

Le tableau ci-dessus montre que les mois les plus pluvieux sont novembre, décembre, janvier, février, mars. Par contre, les mois de juin, juillet et août sont les moins pluvieux.

Les histogrammes des précipitations moyennes mensuelles montrent la variation des précipitations d'un mois à un autre (fig IV.2). Le maximum des précipitations est enregistré au mois de décembre pour les six stations ; Ain Assel (130 mm), Boutheldja (130,72 mm), Les Salines (103,01 mm), Pont Bouchet (100,5 mm), Ain Berda (97,32 mm) (133,9 mm) et Cheffia en mois de janvier (118,14 mm) Par contre, le minimum est enregistré au mois de juillet avec des valeurs de 2,4 mm ; 2,59 mm ; 3,07 mm ; 3,5 mm ; 3,84 mm et 4,14 mm.

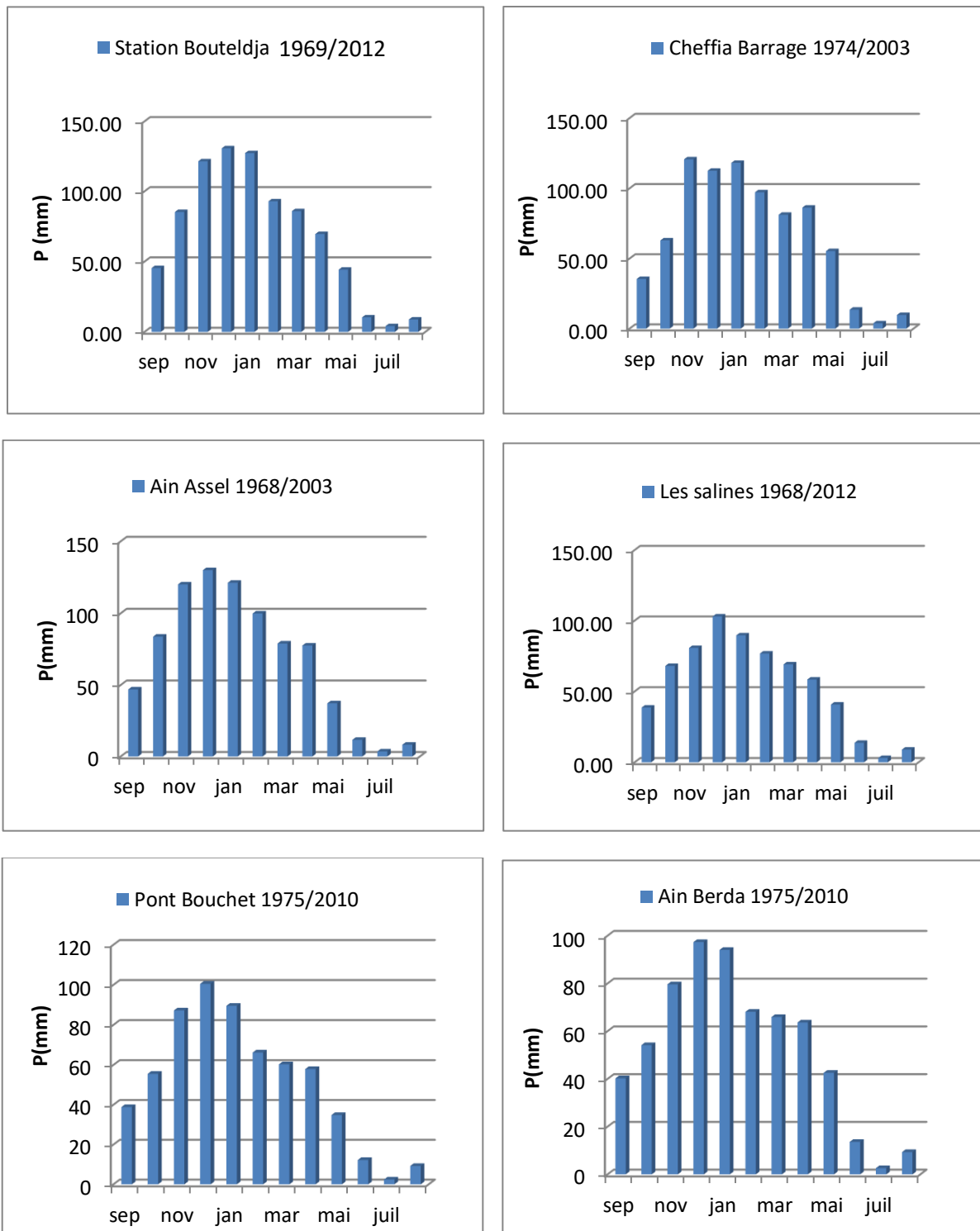


Figure IV.2 : Précipitations moyennes mensuelles de différentes stations dans la zone d'étude.

IV.3.1.2. Précipitations inter-annuelles :

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées aux différentes stations varient entre 614,5 et 826 aux différentes stations choisies.

La zone d'étude reçoit une pluviométrie moyenne de l'ordre de 723 mm. Elle est calculé en pondérant à partir des moyennes enregistrées dans les stations (sus-citées) pour des périodes de durées différentes.

$$P_p = \frac{\sum \bar{M} \times N_c}{N}$$

P_p = moyenne calculée par pondération

$\sum \bar{M}$ = Somme des moyennes annuelles enregistrées dans chaque station

N_c = Nombre d'années correspondantes de chaque station.

N = Le nombre totale des années.

L'examen de la variation des précipitations interannuelle (fig IV.3) nous permet d'identifier les tendances générales de la variation et l'évolution dans les précipitations annuelles. Elle change parallèlement avec la séquence des périodes sèches et pluvieuses.

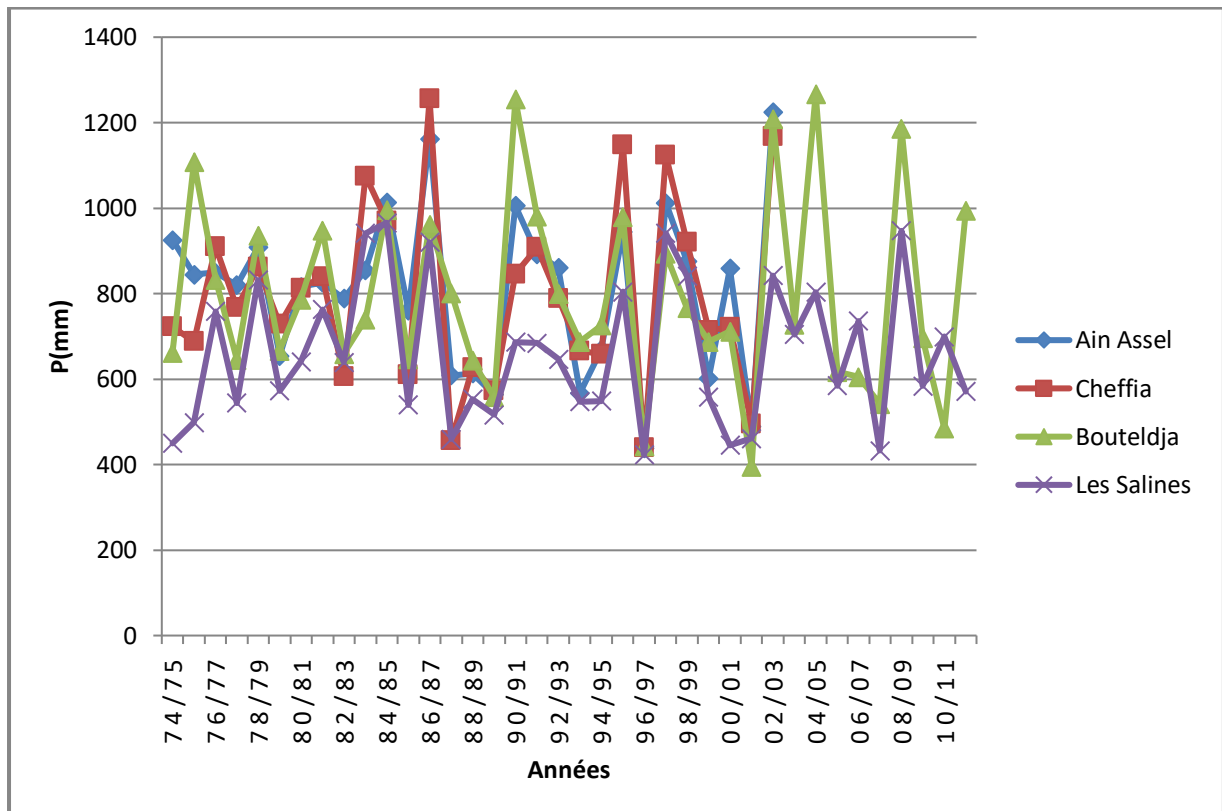


Figure IV.3 : Variation interannuelle des précipitations dans la zone d'étude.

a- Coefficient de variation

Le phénomène de variabilité inter-annuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation (Cv) traduisant la dispersion relative des pluies :

$$Cv = \frac{\delta}{\bar{P}}$$

δ = L'écart type

\bar{P} = La moyenne

$$\text{L'écart-type : } \delta P = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P)^2}{n-1}} \quad \text{si } n < 30 \quad : \quad \delta P = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P)^2}{n}} \quad \text{si } n > 30$$

$$\text{La moyenne : } \bar{P} = \frac{\sum p_i}{n} \quad n : \text{La taille de l'échantillon.}$$

La Figure IV.4 et le tableau IV.3 présente les valeurs du coefficient de variation des quatre stations, Les salines qui représente l'ouest de la zone d'étude, Chaffia barrage et Bouteldja pour la partie centrale et Ain Assel qui présente sa partie Est.

On note que la différence entre les moyennes précipitées d'une année à l'autre peut atteindre 396 % au mois de juillet à la station de Bouteldja, et 50 % comme valeur minimale à la station d'Ain Assel et 51 % à Cheffia barrage en mois de Janvier.

Tableau IV.3 : Variations mensuelles et annuelles du coefficient de variation.

Mois	Station			
	Les Salines	Cheffia Barrage	Bouteldja	Ain Assel
Septembre	0,73	0,84	0,64	0,77
Octobre	0,69	0,77	0,51	0,70
Novembre	0,68	0,64	0,55	0,57
Décembre	0,54	0,69	0,67	0,71
Janvier	0,57	0,51	0,88	0,50
Février	0,59	0,68	0,84	0,54
Mars	0,61	0,50	0,71	0,67
Avril	0,63	0,74	0,85	0,70
Mai	0,80	0,73	1,26	0,71
Juin	0,97	0,97	3,43	1,05
Juillet	1,49	2,11	3,96	2,26
Aout	1,36	1,28	1,83	1,66
Moy. Annuelle	0,81	0,87	1,35	0,90

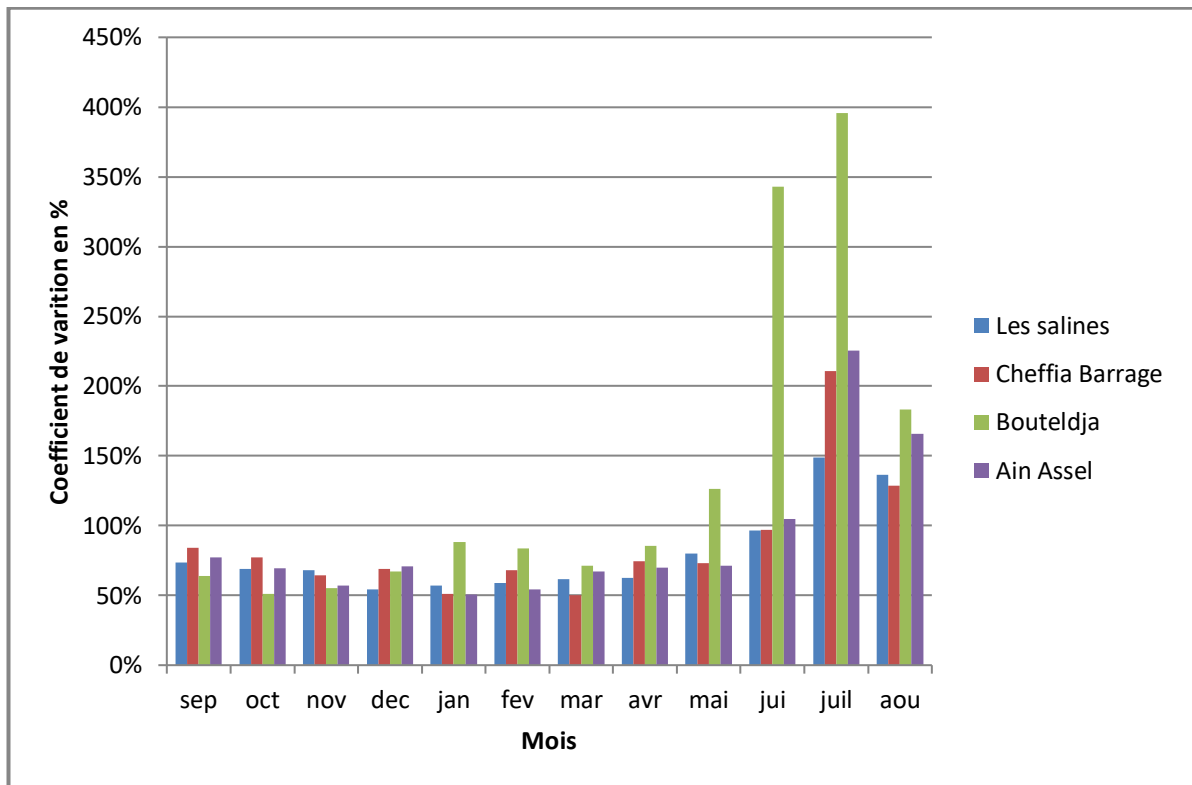


Figure IV.4 : Variations mensuelles du coefficient de variations.

b- Coefficient pluviométrique (H)

Le coefficient pluviométrique permet de déterminer pour une station donnée, si l'année est excédentaire ($H > 1$) ou déficitaire ($H < 1$). Il est défini par le rapport de la pluviométrie (P) d'une année à la pluviométrie moyenne \bar{p} d'une période d'observation.

la pluviométrie moyenne \bar{p} d'une période d'observation. $H = P / \bar{p}$

Avec : H : Coefficient pluviométrique,

P : Pluviométrie d'une année (mm).

\bar{p} : Pluviométrie moyenne annuelle (mm).

Les hauteurs moyennes annuelles des précipitations (p) enregistrées durant la période d'observation sont de l'ordre de 824,95 mm ; 796,67 mm ; 818,9 mm ; 651 mm ; 614,5 mm ; 630,95 mm successivement pour les stations Bouteldja, Cheffia Barrage, Ain Assel, Les Salines, Pont Bouchet et celle d'Ain Berda.

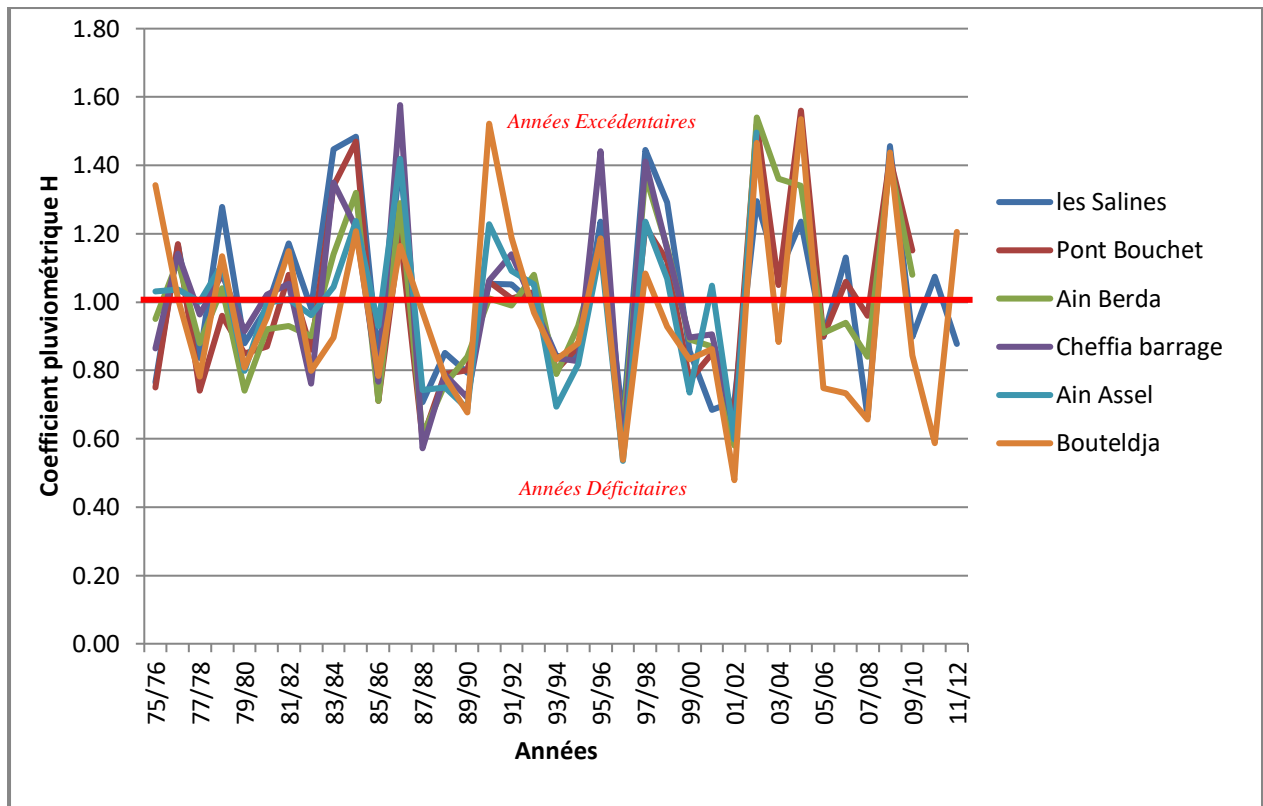


Figure IV.5 : Variations des coefficients pluviométriques pour les différentes stations.

Les courbes de variation du coefficient pluviométrique de chaque station (fig IV.5), montre que les années déficitaires communes pour les six stations sont nombreuses que les années excédentaires. Les années excédentaires sont : 1984/85, 86/87, 91/92, 95/96, 97/98, 98/99, 2003/04, 2005/06 et 2008/2009, le reste des années sont considérées comme des années déficitaires.

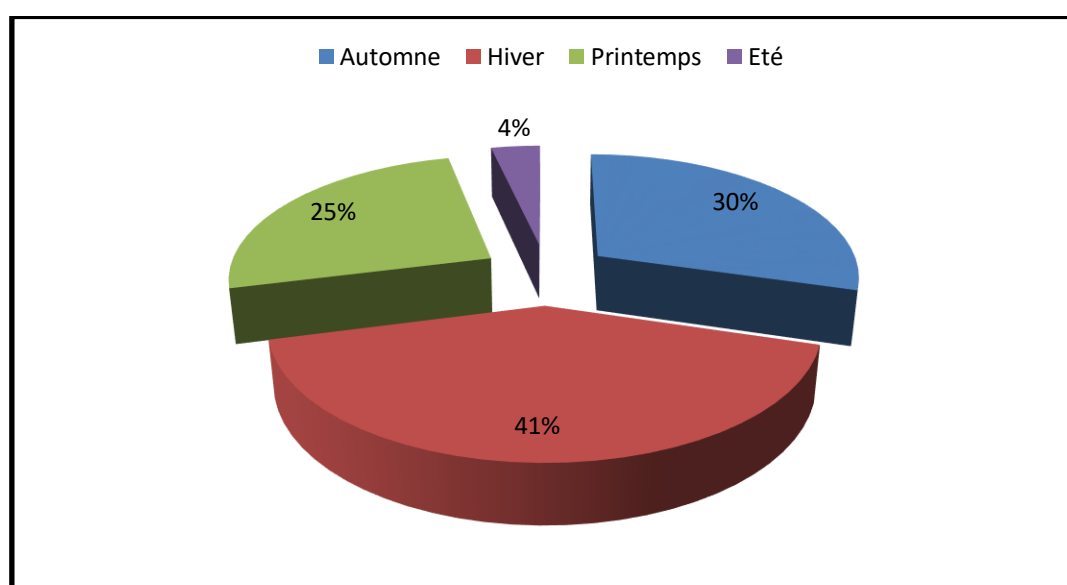
Les années 1984/85 ; 1986/87 ; 1991/92 ; 1995/96 ; 2002/2003 et 2008/2009 sont les plus arrosées où la quantité des précipitations dépasse les 1000 mm/an (fig I.12). Par contre, les années 1988/1989, 1997/1998, 2001/2002, 2007/2008 sont les plus arides avec une quantité des précipitations inférieure à 500 mm/an.

IV.3.1.3. Répartition saisonnière des précipitations :

L'indice saisonnier de Peguy (1970) est un paramètre d'analyse de la subdivision des pluies de l'année pour chaque saison et par conséquent de prévoir son impact sur le cycle hydrologique et sur l'agriculture.

Tableau IV.4 : Répartitions saisonnières des précipitations par stations et indice de PEGUY.

Stations	Saisons								Moyenne Annuelle (mm/ans)	Indice de PEGUY
	Automne		Hiver		Printemps		Eté			
	Tot	%	Tot	%	Tot	%	Tot	%		
Ain Assel	261	32,3	338,9	41,9	185,7	22,96	22,84	2,824	808,7	HAPE
Boutheldja	262,47	32,98	325,26	40,87	183,13	23,01	24,84	3,12	795,69	HAPE
Cheffia	218,97	27,49	327,82	41,15	222,76	27,96	27,12	3,40	796,67	HAPE
les Salines	194,73	29,49	270,64	40,99	169,02	25,60	25,88	3,92	660,27	HAPE
Pont Bouchet	181,54	29,55	256,13	41,69	152,98	24,90	23,71	3,86	614,50	HAPE
Ain Berda	173,96	27,57	259,43	41,12	172,06	27,27	25,51	4,04	630,95	HAPE

**Figure IV.6** : Répartition saisonnières des précipitations de la zone d'étude.

L'indice saisonnier de toutes les stations de la zone d'étude est du type HAPE, signifie que 70 % des précipitations annuelles tombent durant l'Hiver et l'Automne, par contre, la saison estivale est la plus sèche, elle représente seulement 2 à 4 % de la totalité des pluies.

Cela peut avoir des conséquences très négatives sur les sols, notamment en l'absence de couverture végétale. Parce que la plupart des terres cultivées dans notre zone d'étude, en particulier dans la wilaya d'El Tarf (à Ain Karma et Bouhadjaren) sur des terres en pente sont des zones à risque et nécessitent une culture adéquate par le labour dans le sens des courbes de niveau, également afin d'assurer une protection des barrages contre l'envasement.

IV.3.2. Température

Les facteurs thermiques créent des interactions avec d'autres, tel que les autres facteurs météorologiques : précipitations, l'ensoleillement, vent, humidité etc... et bio-géographiques, sur l'évaporation et par conséquent sur le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Les données récentes disponibles au niveau de la station météorologique de Annaba les Salines pour la période 1971/72 à 2011/12, (moyennes mensuelles, maxima et minima (fig IV.7), ainsi que les moyennes mensuelles des températures enregistrées au niveau de la Station Climatologique El Kala 1972/73 à 2003/04, font ressortir de très fortes oscillations thermiques, indiquant leur répartition sur deux périodes bien différenciées :

- Une période chaude qui s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre où les températures sont supérieures à 20°C.
- Une période froide de mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril où les températures sont inférieures à 16°C.

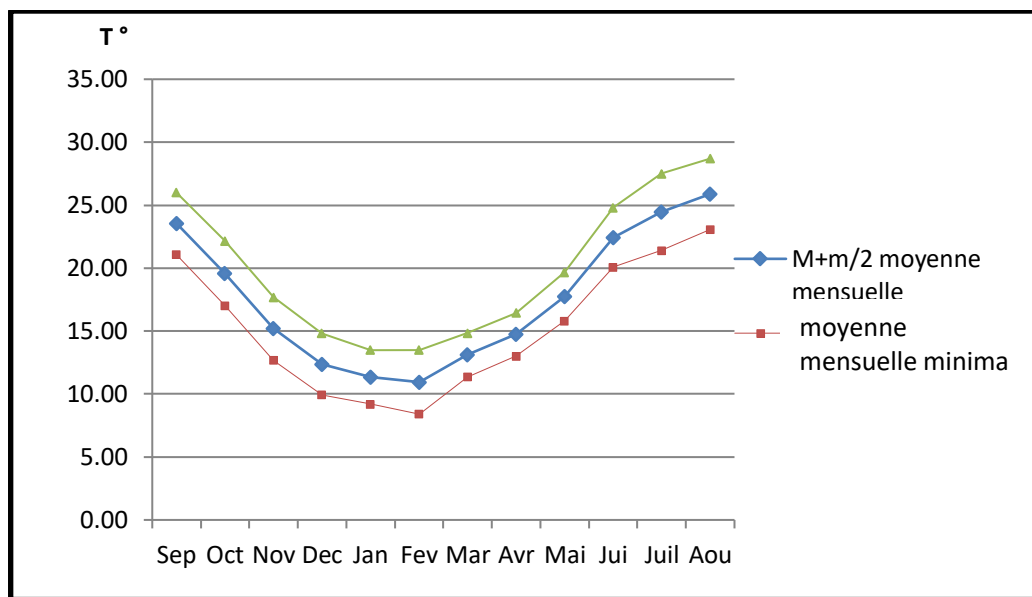


Figure IV.7 : Variations mensuelles du régime thermique, station les Salines période 1971/1972 à 2011/2012.

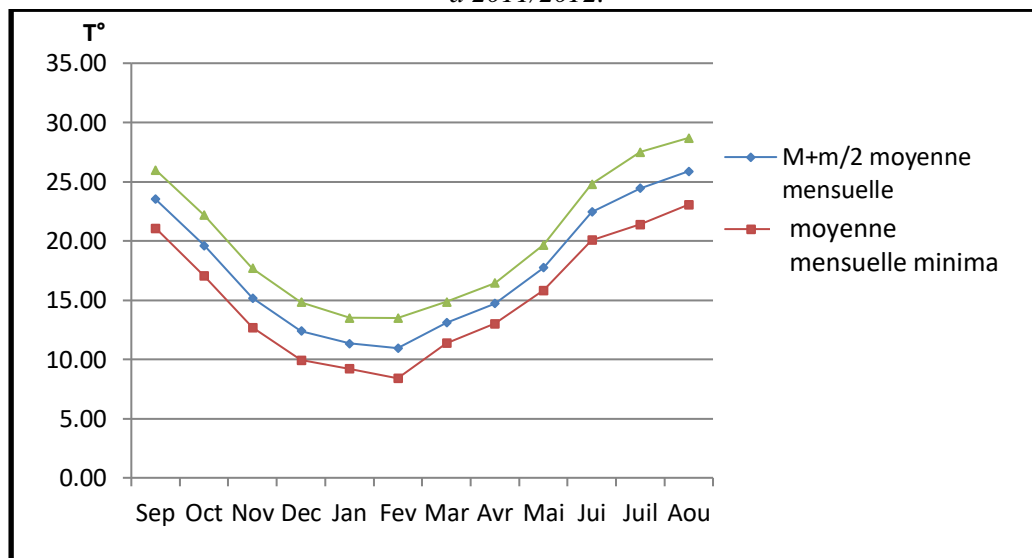


Figure IV.8 : Variations mensuelles du régime thermique, station el kala période 1972/1973 à 2003/2004.

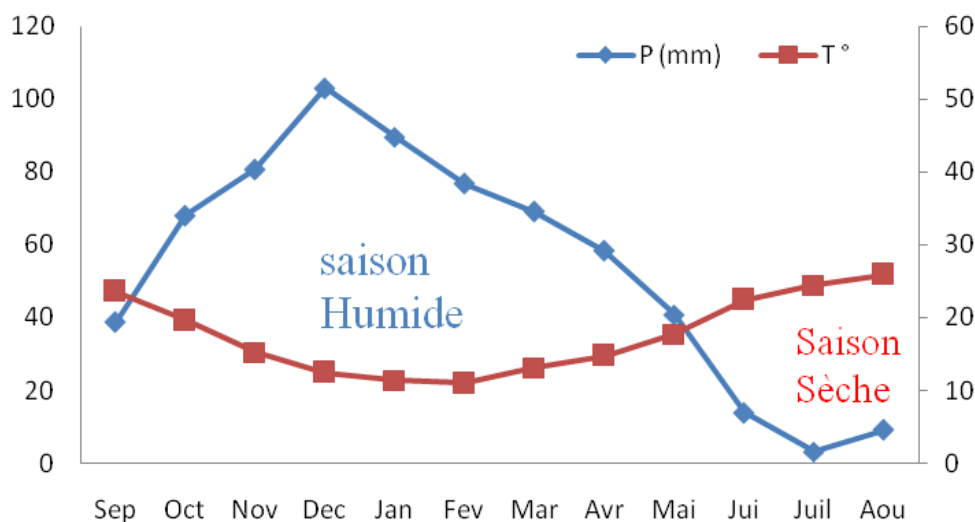
Tableau IV.5 : Température moyenne mensuelles à la station Les Salines (1971 - 2012) et la station d'el kala (1972 – 2004).

Mois	Station					
	Les Salines			El kala		
	Moy minima	Moy maxima	Moy	Moy minima	Moy maxima	Moy
Septembre	21,07	26	23,535	21,15	25,85	23,5
Octobre	17,03	22,17	19,6	17,25	23,25	20,25
Novembre	12,68	17,7	15,19	13,73	17,8	15,765
Décembre	9,94	14,83	12,385	10,9	16,45	13,675
Janvier	9,2	13,5	11,35	9,42	16,55	12,985
Février	8,4	13,49	10,945	9,42	14,5	11,96
Mars	11,36	14,85	13,105	10,65	15,35	13
Avril	13,01	16,45	14,73	12,13	17,6	14,865
Mai	15,82	19,67	17,745	16,73	21,37	19,05
Juin	20,08	24,8	22,44	19,33	25,8	22,565
Juillet	21,4	27,5	24,45	21	27,85	24,425
Aout	23,07	28,7	25,885	21,85	29,45	25,65

IV.3.2.1. Diagrammes Ombrothermiques

Nous avons établi les diagrammes ombrothermiques de Gausсен pour pouvoir spécifier les saisons dans la région, à partir des trois stations : Annaba les salines et El Kala. Selon la définition de GAUSSEN (1957) basée sur le comportement de la végétation aux mois où le total de la précipitation est égal ou inférieur au double de la température moyenne soit $P_{mm} \leq 2 t^{\circ} C$, comme le montre les diagrammes ombrothermiques (fig IV.9 et IV.10) des deux stations.

Les mois secs se relèvent de Mai à Septembre où on observe une coïncidence entre les deux extrêmes (Maxima thermique et minima pluviométrique), cela interprète une période de sécheresse où l'évapotranspiration atteint sa plus forte valeur ce qui se répercute sur le bilan hydrique.

**Figure IV.9** : Diagramme ombrothermiques, station Les Salines période 1971/1972 à 2011/2012.

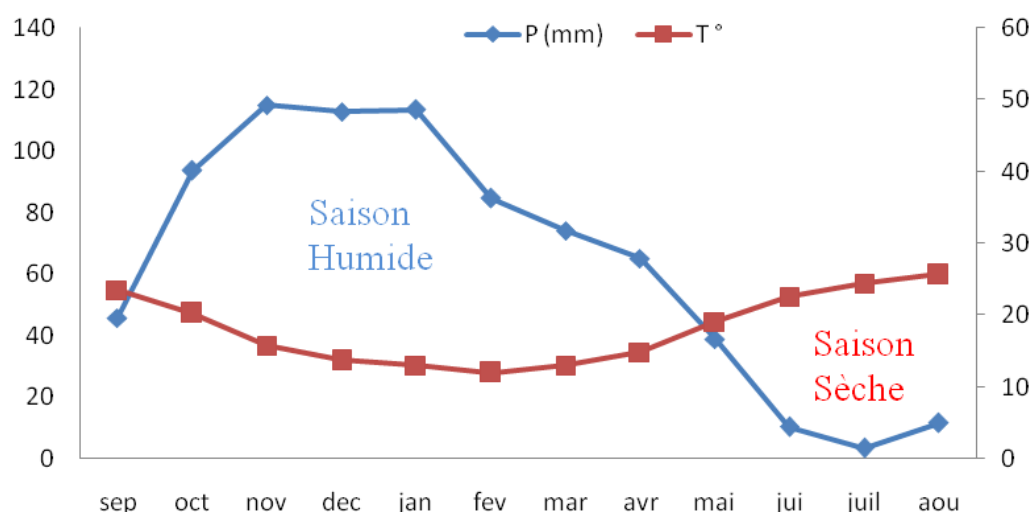


Figure IV.10 : Diagramme ombrothermiques, station El Kala 1972/1973 à 2003/2004

IV.3.3. Vitesse du vent

Le vent est parmi les facteurs déterminant de régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'après la station météorologique Les Salines (Annaba), les vents dominants sont de direction Nord et Nord-Ouest avec des vitesses moyennes mensuelle variable entre 2,9 et 3,45 m/s (Zahi, 2014) (tab IV.6).

Tableau IV.6 : Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station Annaba Les Salines (1975 – 2006) (in Zahi, 2014).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.
Vitesse du vent (m/s)	3,04	2,90	3,05	3,45	3,31	3,30	3,24	3,02	3,03	3,18	3,13	3,16

La moyenne annuelle de la vitesse maximale instantanée du vent est de 19 m/s. Elle varie de 25 à 20 m/s entre Décembre et Avril. Elle atteint les 37 m/s en mois de Février (1984). Cette vitesse commence à réduire pendant la période estivale où elle atteint 15 m/s en mois de Juin – Juillet à la station de Annaba les Salines (Affoun, 1993).

Tableau IV.7 : Variation des moyennes mensuelles de la vitesse maximale instantanée du vent à la station d'Annaba Les Salines périodes : (1971/1972-2002/2003) (in Affoun, 2006)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.
Vitesse du vent (m/s)	17.9	19	20.7	25.7	20.8	21.9	19.5	20.2	16.7	15.9	16.1	18

IV.3.4. Humidité

Les valeurs mensuelles et annuelles de l'humidité relative à la station Les Salines, sont présentées au tableau IV.8 ; la moyenne annuelle est de 74,66 % sur une période d'observation de 31 ans (1975-2006). La valeur de la moyenne minima est au mois de juillet avec une valeur de 70,18 % et le maxima est au mois de janvier avec une valeur de 78,16 % (in Zahi, 2014).

Tableau IV.8 : Humidité relative moyenne mensuelle à la station les salines (1975-2006).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.
Humidité (%)	72.42	74.7	76.42	77.2	78.16	77.00	75.45	74.65	75.03	72.83	70.18	71.86

IV.4. Bilan Hydrique

IV.4.1 Evapotranspiration potentielle ETP selon la Méthode de Thornthwaite :

Selon Roche (1963) : « L'ETP correspond à l'évaporation d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques ». Plusieurs méthodes utilisées pour calculer ce paramètre, la plus répandue est celle de C.W.Thornthwaite présentée en 1948, elle ne prend en compte que la température. Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humides et semi arides. Elle est fondée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 50 mm au maximum (Gaude, 1976 in Debieche, 2002).

La méthode de Thornthwaite calcule l'évapotranspiration potentielle mensuelle à partir des données de base (précipitations, températures, le coefficient thermique mensuel K et l'indice thermique mensuel (i) et selon la relation suivante :

$$i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.5} ; \quad I = \sum_{i=1}^{12} i ; \quad a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

$$ETP = 16 \left(\frac{10I}{I} \right)^a k$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C

i : Indice thermique mensuel.

I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement.

Dans notre zone d'étude, le calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR), la saturation du sol la est estimé à 100 mm (RU = 100 mm) pendant la période sèche et où les précipitations sont inférieures aux valeurs calculées de l'ETP (RU = 0).

Trois stations de référence ont été choisies pour le calcul du bilan hydrique :

- Annaba les Salines, comme la station représentative de la partie Est de la région d'étude.
- Cheffia-Barrage, comme la station représentative de la partie centrale de la région d'étude.
- Boutheldja, comme la station représentative de la partie Ouest de la région d'étude.

Tableau IV.9 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station des Salines (1969-2012).

Mois	T (°c)	i	K	ETP	P (mm)	BH	RFU	ETR	DEF	EXC
S	23,54	10,4	1,03	110,5	38,65	-71,8	0,0	38,7	71,8	0,0
O	19,60	7,9	0,97	74,4	68,01	-6,4	0,0	68,0	6,4	0,0
N	15,19	5,4	0,86	41,3	80,71	39,4	39,4	41,3	0,0	0,0
D	12,39	3,9	0,81	26,7	103,01	76,3	100,0	26,7	0,0	15,7
J	11,35	3,5	0,87	24,5	89,65	65,2	100,0	24,5	0,0	65,2
F	10,95	3,3	0,85	22,4	76,78	54,4	100,0	22,4	0,0	54,4
M	13,11	4,3	1,03	37,7	69,11	31,4	100,0	37,7	0,0	31,4
A	14,73	5,1	1,10	49,9	58,38	8,5	100,0	49,9	0,0	8,5
M	17,75	6,8	1,21	77,3	40,82	-36,5	63,5	77,3	0,0	0,0
J	22,44	9,7	1,22	119,9	13,80	-106,1	0,0	77,3	42,6	0,0
J	24,45	11,1	1,24	142,7	3,07	-139,6	0,0	3,1	139,6	0,0
A	25,89	12,1	1,16	148,2	9,01	-139,2	0,0	9,0	139,2	0,0
Total		83,5		875,4	651,0	-224,4		475,9	399,5	175,1

Tableau IV.10 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Bouteldja (1968-2012).

Mois	T (°c)	i	K	ETP	P (mm)	BH	RFU	ETR	DEF	EXC
S	23,50	10,4	1,03	108,2	45,36	-62,8	0,0	45,4	62,8	0,0
O	20,25	8,3	0,97	76,9	85,27	8,4	8,4	76,9	0,0	0,0
N	15,77	5,7	0,86	42,5	121,47	79,0	87,3	42,5	0,0	0,0
D	13,68	4,6	0,81	30,6	130,72	100,1	100,0	30,6	0,0	87,4
J	12,99	4,2	0,87	29,8	127,28	97,5	100,0	29,8	0,0	97,5
F	11,96	3,7	0,85	24,9	92,93	68,0	100,0	24,9	0,0	68,0
M	13,00	4,2	1,03	35,4	85,84	50,5	100,0	35,4	0,0	50,5
A	14,87	5,2	1,10	48,7	69,58	20,9	100,0	48,7	0,0	20,9
M	19,05	7,6	1,21	85,5	44,26	-41,2	58,8	85,5	0,0	0,0
J	22,57	9,8	1,22	118,7	10,34	-108,3	0,0	69,1	49,6	0,0
J	24,43	11,0	1,24	140,1	4,14	-135,9	0,0	4,1	135,9	0,0
A	25,65	11,9	1,16	143,7	8,84	-134,9	0,0	8,8	134,9	0,0
Total		86,7		885,0	826,0	-59,0		501,8	383,2	324,2

Tableau IV.11 Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite. Station de pont Bouchet (1968-2012).

Mois	T (°c)	i	K	ETP	P (mm)	BH	RFU	ETR	DEF	EXC
S	23,54	10,4	1,03	110,5	38,80	-71,7	0,0	38,8	71,7	0,0
O	19,60	7,9	0,97	74,4	55,50	-18,9	0,0	55,5	18,9	0,0
N	15,19	5,4	0,86	41,3	87,20	45,9	45,9	41,3	0,0	0,0
D	12,39	3,9	0,81	26,7	100,50	73,8	100,0	26,7	0,0	19,7
J	11,35	3,5	0,87	24,5	89,50	65,0	100,0	24,5	0,0	65,0
F	10,95	3,3	0,85	22,4	66,20	43,8	100,0	22,4	0,0	43,8
M	13,11	4,3	1,03	37,7	60,30	22,6	100,0	37,7	0,0	22,6
A	14,73	5,1	1,10	49,9	57,90	8,0	100,0	49,9	0,0	8,0
M	17,75	6,8	1,21	77,3	34,80	-42,5	57,5	77,3	0,0	0,0
J	22,44	9,7	1,22	119,9	12,20	-107,7	0,0	69,7	50,2	0,0
J	24,45	11,1	1,24	142,7	2,40	-140,3	0,0	2,4	140,3	0,0
A	25,89	12,1	1,16	148,2	9,20	-139,0	0,0	9,2	139,0	0,0
Total		83,5		875,4	614,5	-260,9		455,4	420,0	159,1

- **T** : Température mensuelle en Co
- **i** : Indice thermique
- **k** : Coefficient de latitude
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle en (mm)
- **BH** : Bilan Hydrique
- **P** : Précipitation mensuelle en (mm)
- **RFU** : Réserve facilement utilisable en (mm)
- **ETR** : Evapotranspiration réelle en (mm)
- **DEF** : Déficit agricole en (mm)
- **EXC** : Excédent en (mm)

Formule de vérification

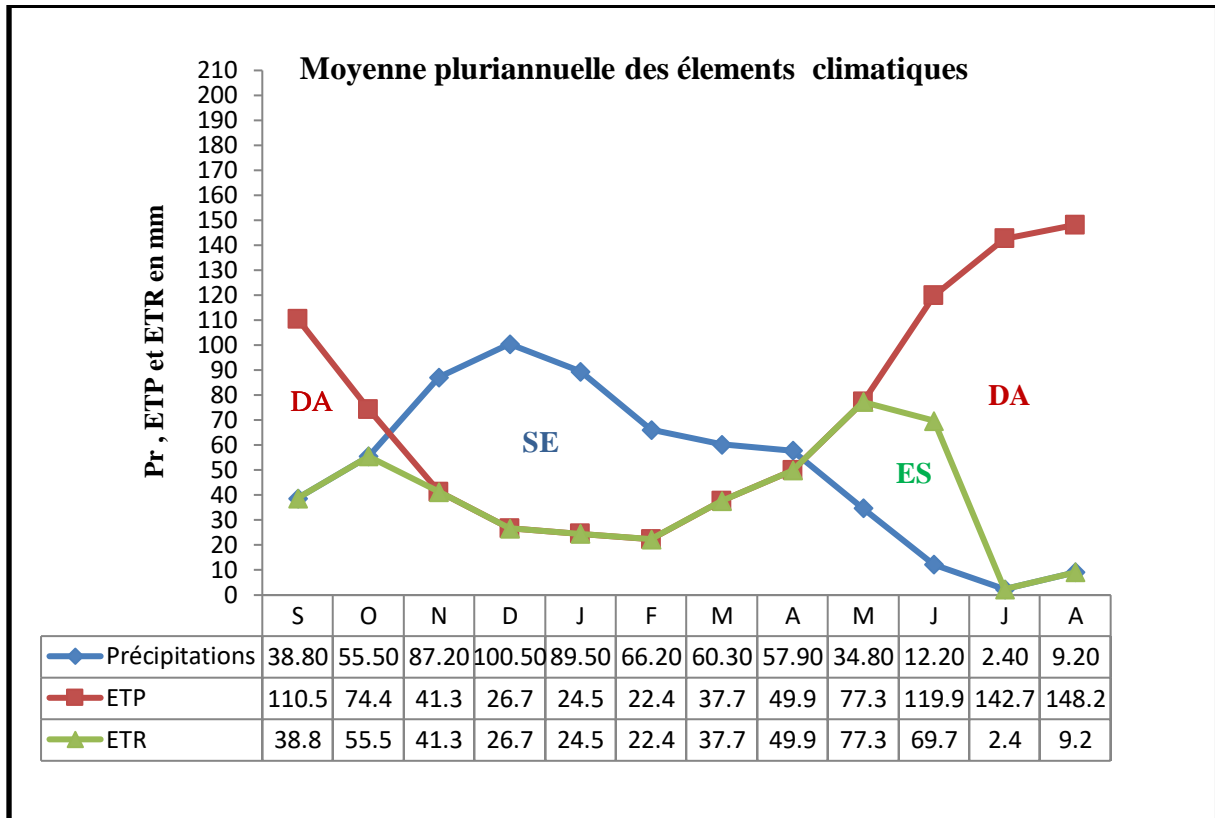
$$P = \sum ETR + \sum EX$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA$$

IV.4.2. Interprétation du bilan hydrique :

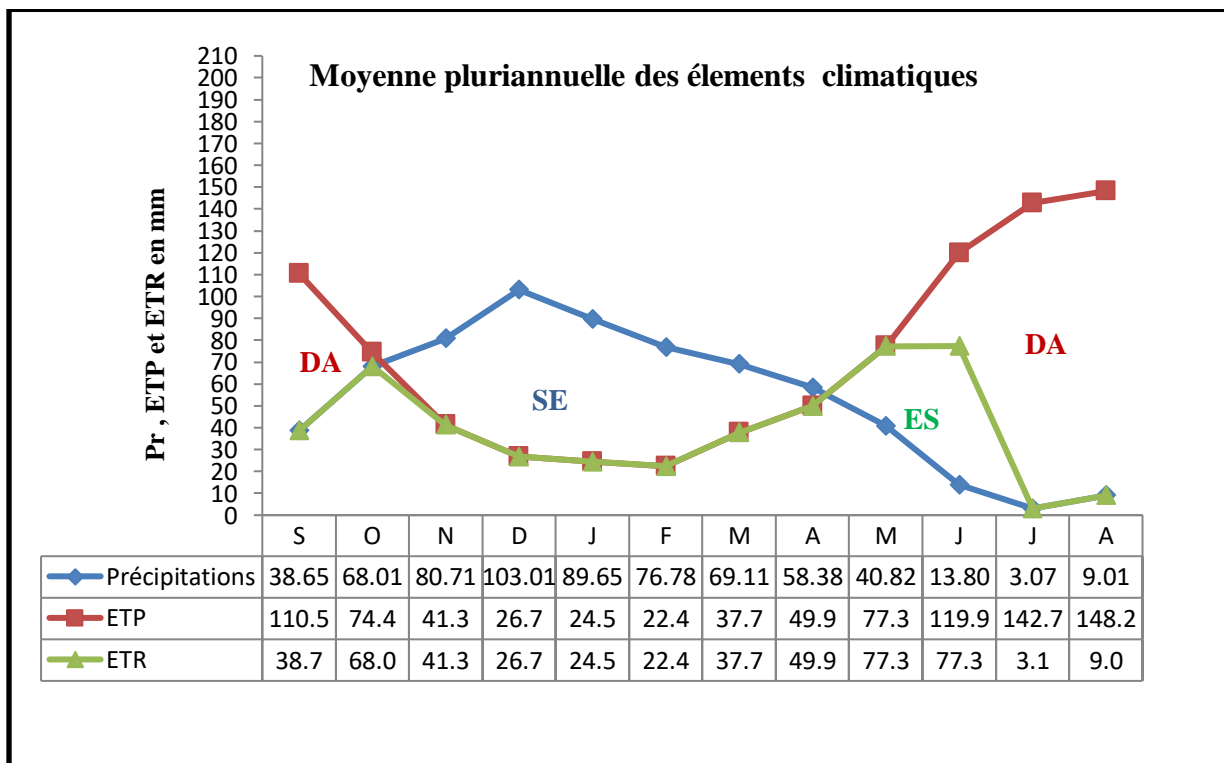
Le bilan hydrique nous aiderons à connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DEF, EXC), pour comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface.

L'interprétation du bilan hydrologique calculé par la méthode de Thornthwaite pour les trois stations dans l'ensemble les mêmes, Le déficit agricole s'observe entre les mois de Mai et d'Octobre. Au mois de Novembre, déclenche la reconstitution du stock, la RFU évoluant jusqu'à atteindre son maximum (100 mm) au mois de Décembre avec un excédent très important qui varie selon les quantités des précipitations. Elle s'étend jusqu'au mois de mai à partir duquel commence le détrimement du stock qui se poursuit jusqu'au mois de juin (fig IV.11, IV.12 et IV.13).



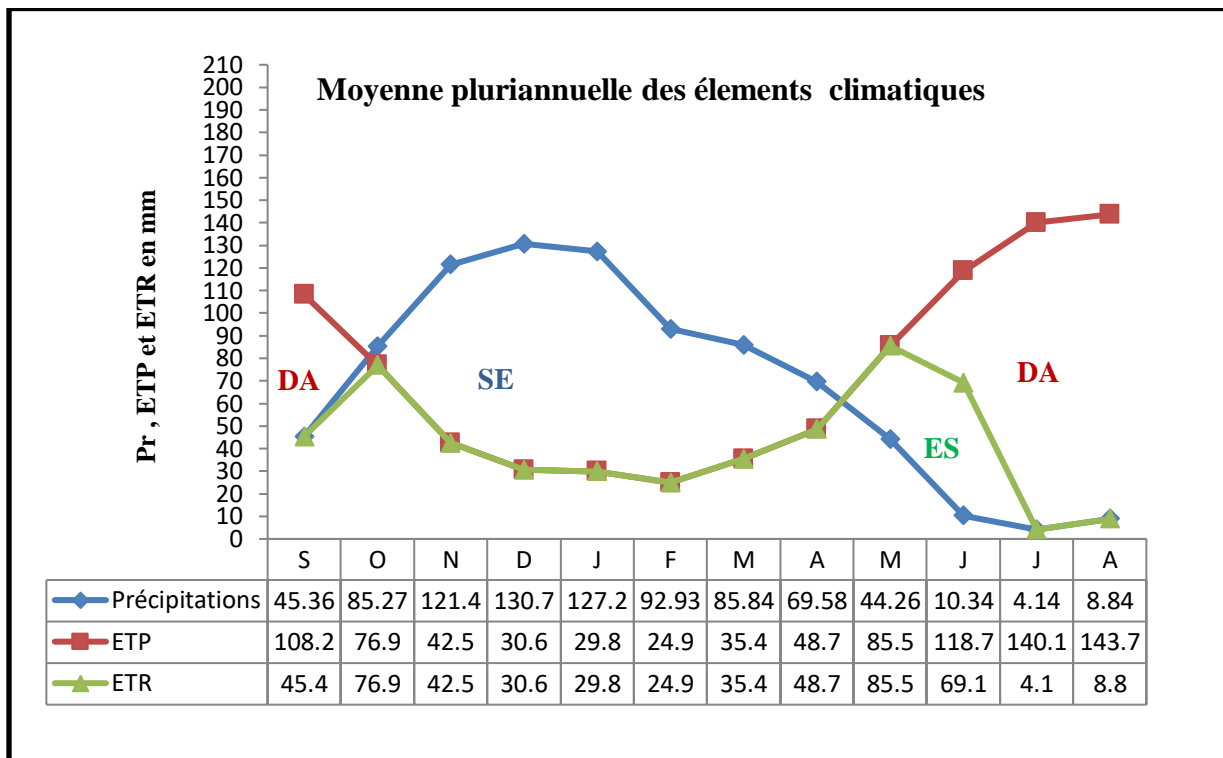
DA: Déficit Agricole, SE: Surplus d'Eau, ES : Epuisement du Stock

Figure IV.11 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station de pont Bouchet (1975-2010).



DA: Déficit Agricole, SE: Surplus d'Eau, ES : Epuisement du Stock

Figure IV.12 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station des Salines (1969-2012).



DA: Déficit Agricole, SE: Surplus d'Eau, ES: Epuisement du Stock

Figure IV. 13 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station de Bouteldja (1968-2012).

Les résultats des bilans de ces stations nous a permis de constater qu'il y a deux périodes :

- Une période hivernale s'étale du mois d'octobre à avril, caractérisée par des précipitations importantes d'ordre de 517,1 mm à Pont Bouchet, 545,65 mm à la station Les Salines, 713,09 mm à Bouteldja. Tandis que, l'évapotranspiration est réduite avec une valeur de 276,9 mm aux deux premières stations et 288,8 mm à Bouteldja. La restauration du stock se fait à partir d'Octobre et l'écoulement se manifeste à partir de décembre et se poursuit jusqu'à avril.
- Une période estivale qui s'étale de mai jusqu'à septembre où l'évapotranspiration potentielle (ETP) est clairement supérieure aux précipitations. Pendant cette période, le stock commence à se vider complètement surtout en mois de juin, accompagné d'un déficit agricole, qui atteint son maximum en mois de juillet, ce qui explique que l'irrigation doit être assuré à partir de cette période, et devient indispensable en mois de Juillet, Août et Septembre.

IV.5. Conclusion

L'étude des paramètres climatiques a permis de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par une irrégularité pluviométrique importante, surtout durant les mois de faible pluviosité, et une diversification entre les moyennes précipitées d'une année à une autre donnée comme la montre le coefficient de variation qui peut atteindre les 396 % durant le mois de Juillet au niveau de la station de Bouteldja.

En somme les températures moyennes annuelles dans l'ensemble de la région varient dans l'intervalle de 17°C et 18°C pour les deux stations les Salines et El Kala. Les diagrammes ombrothermiques nous permettent de remarquer deux saisons bien divergentes : l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses (inférieures à 16°C) s'étend de Novembre à Avril, l'autre sèche moins pluvieuse chaude avec des températures relativement élevées (supérieures à 20°C) qui s'étend de Mai à Octobre.

Quant au bilan hydrologique ; on constate qu'à partir du mois de novembre, la contribution considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol, un déficit agricole est enregistré et un excédent nul de Mai à Octobre qui est la période des basse eaux et la saison durant laquelle on irrigue.

Chapitre V :
Hydrologie et ressources en eau de la région
d'étude

V.1 Introduction

Dans le but de mettre en place les bases d'une gestion rationnelle et intégrée des ressources en eau, nous allons procéder dans ce chapitre au traitement des aspects quantitatifs des ressources en eau superficielles et souterraines, l'évaluation et l'analyse des débits moyens annuels, ainsi que les régimes saisonniers et la variation saisonnière des débits au sein des bassins versant. Il est important aussi de présenter un inventaire des aménagements hydrauliques importants ainsi que des activités consommatrices d'eau.

Notre aire d'étude se compose de deux régions, la première est « le bassin de la Mafragh » qui fait partie du grand bassin constantinois Est et le sous bassin « d'Oued Seybouse » qui se situe à l'aval du grand bassin de la Seybouse, les ressources en eaux superficielles des deux zones sont constituées par les eaux de surface tel que : les cours d'eau, les étendues libres (lacs) et les barrages.

V.2. Hydrologie du sous bassin versant Seybouse et la Mafragh

Les ressources en eaux superficielles sont formées par les eaux de surface tel que : les cours d'eau, les étendues libres (lacs) et les barrages. Les principaux oueds qui drainent notre zone d'étude sont le Seybouse ; Kébir-Est et la Bounamoussa, ainsi que leur affluents, qui sont moins importants mais qui jouent un rôle complémentaire dans l'écoulement superficiel, l'alimentation et surtout le drainage des nappes superficielles.

« La Seybouse écoule à Mirebek, station la plus en aval et contrôlant une surface de 5 955 km², un débit de 10,12 m³/s (10,71 m³/s sur la période moyenne 1972-94 soit un volume de 338 Hm³ par an).

Les côtiers Est, l'oued Kébir-Est débite à Ain Assel 6,38 m³/s, à l'issue d'un bassin de 680 km². Loin à l'aval, dans la zone côtière, l'oued Mafragh formé par la confluence du Kébir-Est et de la Bounamoussa, écoule vers la mer un débit deux à trois fois supérieur (selon les anciennes données hydrologiques, un débit annuel moyen de 4,72 m³/s a été écoulé par la Bounamoussa à la station de Cheffia et de 1,74 m³/s par Bouhalloufa à la station de Gué Zitoun, à l'issue de bassins respectifs de 575 et 175 km²) » (Mebarki, 2005) soit un volume de 546 Hm³ par an (Affoun, 2006).

A. Nous avons collecté les données hydrométriques (débits moyennes mensuelle inter annuels) de deux (02) stations du sous bassin de la basse Seybouse.

La station de Mirbek contrôle Oued Seybouse, le cours d'eau principal du sous bassin dans sa partie inférieur ; Actuellement, la station n'est pas fonctionnelle à cause de son mauvais état et le manque de personnel. Les données disponibles sont très anciennes et ne présentent pas la situation récente de l'oued. Et la station de Ain Barda situé à oued Ressoul (affluent d'Oued Seybouse).

Les débits des oueds étudiés sont mesurés pour la série 1991 - 2007 à la station de jaugeage de Ain Barda (oued Ressoul) et 1981 - 1997 à la station de Mirbek (oued Seybouse).

Tableau V.1 : Moyennes mensuelles interannuelles des débits en m³/s

Mois \ Oued	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle m ³ /s
Seybouse	3,04	3,7	7,15	14,6	25,3	24,7	25,5	19,5	7,11	2,94	1,78	1,94	11,44
Ressoul	0,013	0,003	0,008	0,173	0,091	0,304	0,273	0,21	0,129	0,058	0,012	0,056	0,11

Les Figure 1 et V.2 montrent la variation des débits au cours de l'année pour les deux stations hydrométriques (Mirbek et Ain Berda). Le débit moyen mensuel se caractérise par un minimum correspond au mois de juillet à Mirbek (1,78 m³/s) est de 0,003 m³/s au mois d'octobre à Ain Berda. Le maximum mensuel s'apparaisse en Mars avec une valeur de 25,5 m³/s à Mirbek, et en février à Ain Berda (0,304 m³/s).

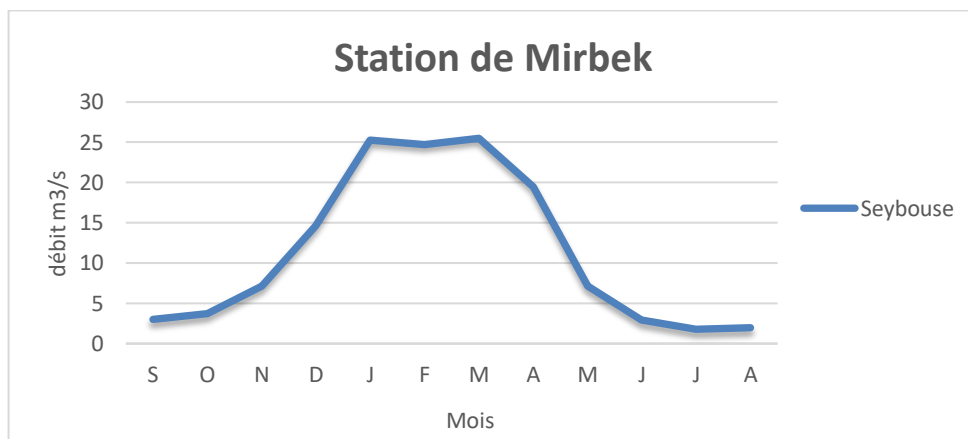


Figure V.1 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Seybouse station Mirbek (Annaba) (1981/1982 – 1996/1997).

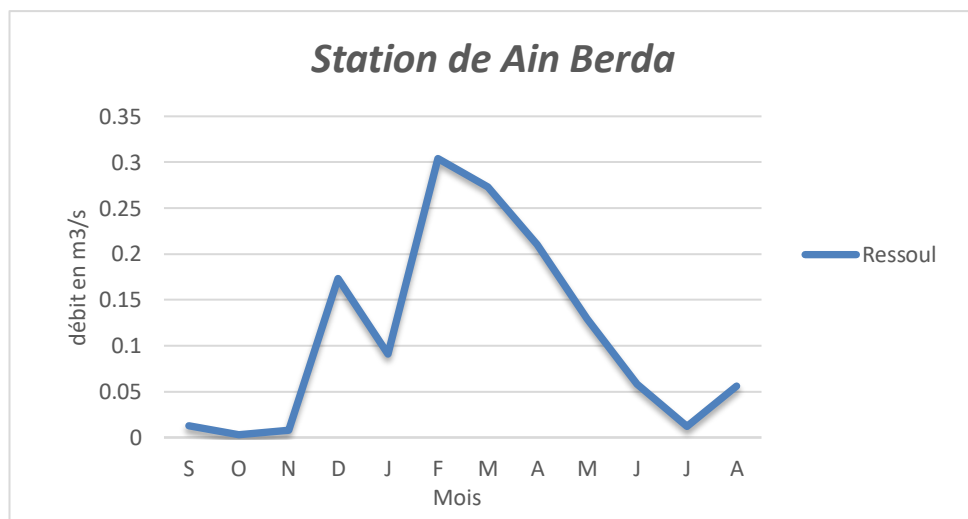


Figure V.2 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Ressoul station Ain Berda (Annaba) (1991/1992 – 2006/2007)

B. Dans notre analyse du régime d'écoulement du bassin versant de la Mafragh, deux stations hydrométriques sont fonctionnelles, situées à l'amont du bassin versant.

La station hydrométrique d'Ain El Assel possède une orientation générale sud-est, nord-ouest en amont du sous bassin versant de l'oued Kebir Est. Elle couvre une superficie de 680 km² sur l'Oued Kébir avec une longueur de la série qui s'étend sur 24 ans de 1980-2004.

La deuxième station est celle de Cheffia Barrage (Boutayeb) contrôle une surface de 575 km² sur Oued Bounamoussa avec une série de 27 ans de 1976/1977-2002/2003.

Le tableau V.2 montre la variation mensuelle du débit de l'oued Kebir Est à la station d'Ain Assel et de l'oued Bounamoussa à la station de Cheffia Barrage (Boutayeb).

Tableau V.2 : La variation mensuelle du débit de l'oued Kebir Est à la station de Ain El Assel (période 1980-2004).

Mois \ Oued	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle m ³ /s
Kebir Est	0,14	1,06	2,58	2,86	8,03	6,09	16,12	30,35	0,77	0,49	0,14	0,08	5,72
Bounamoussa	0,59	0,57	3,43	5,75	9,23	10,53	5,18	5,80	2,41	0,64	0,72	0,58	3,79

Les Figure et V.4 montrent la variation des débits au cours de l'année pour les deux stations hydrométriques (Ain Assel et Cheffia Barrage).

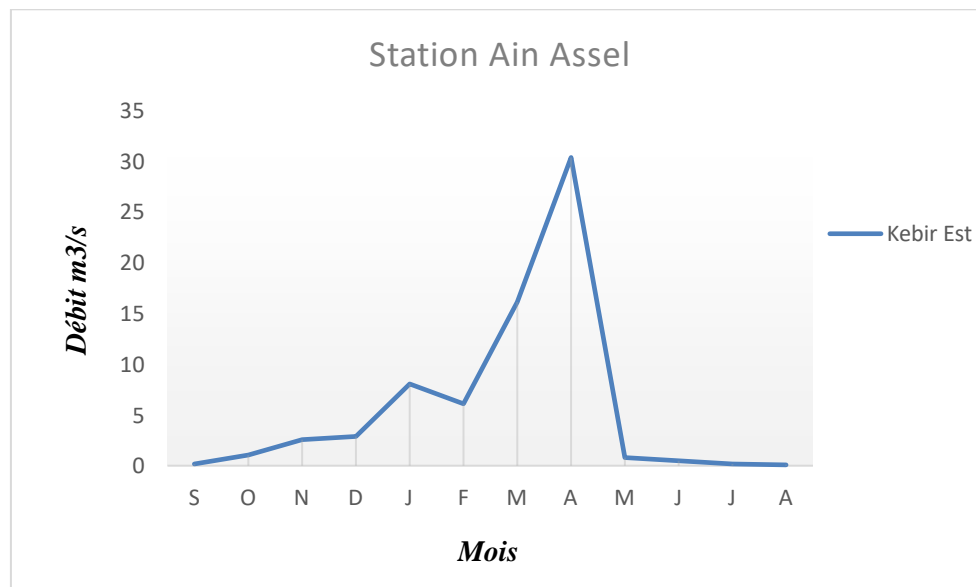


Figure V.3 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Kébir-Est station: Ain Assel (El Tarf) (1980/1981-2003/2004).

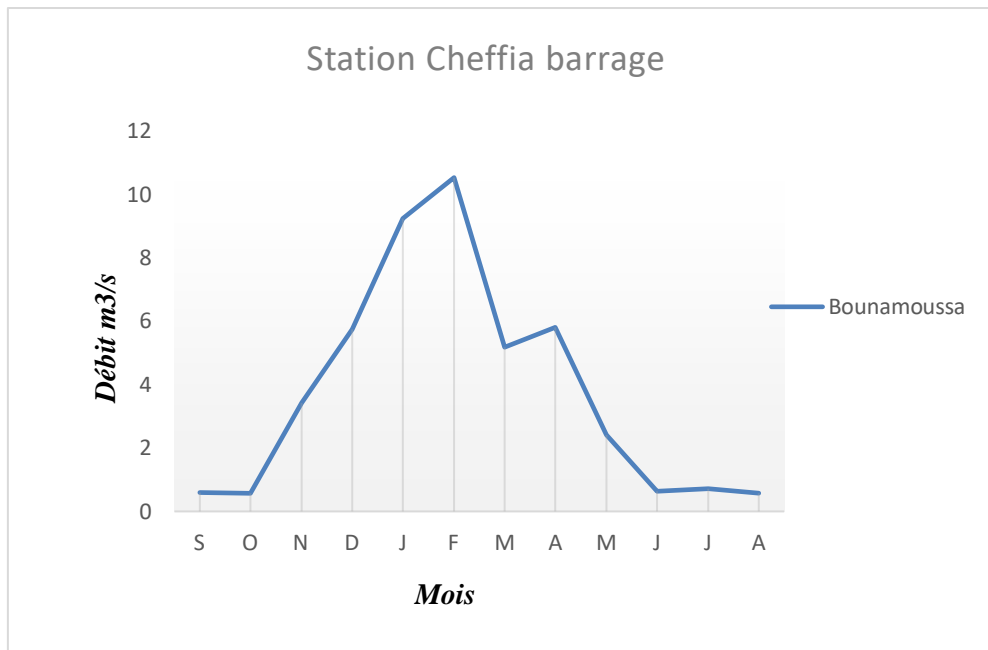


Figure V.4 : Variation des débits moyens mensuels, Oued Bounamoussa Station: Cheffia Barrage (1976/1977-2002/2003).

Les deux graphes V.3 et V.4 indiquent que les plus forts débits s’observent à la période comprise entre le mois de décembre et le mois d’avril et que les plus faibles débits sont enregistrés entre mai et novembre.

Toutes les stations de la zone d’étude, pour toute la période d’observation, l’excédent à la moyenne correspond au mois de Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril et le déficit correspond aux mois de Mai à Novembre.

V.2.1. Ruissellement :

Le ruissellement (R) peut être calculé par deux formules :

- Tixeront Berkallof avec la condition de P < 600 mm

$$R = P^3 / 3 \cdot (ETP)^2 \dots\dots\dots(1)$$

- Tixeront Berkallof modifiée par Romantchouk (1974)

Avec la condition de P > 600 mm

$$R = P^3 / 3 \dots\dots\dots(2)$$

Avec :

- R : Ruissellement en mm ;
- P : Précipitation moyenne mensuelle en mm ;
- ETP : Evapotranspiration potentielle en m.

Les précipitations enregistrées dans la région d’étude dépassent 600 mm, la formule utilisée est celle de Tixeront (1).

V.2.2. Estimation de l'infiltration :

L'expression générale du bilan hydrique s'écrit comme suit :

$$P = R + I + ETR.$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec :

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

R : Ruissellement (mm)

I : L'infiltration (mm)

- Si $I > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si $I < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.

La lame d'eau ruisselée des précipitations et l'estimation de l'infiltration des six stations est reportée sur le tableau suivant :

Tableau V.3 : Paramètres du bilan hydrique

Station	P	ETP	R	ETR	I
Ain Assel	808,69	884,95	176,29	481,03	151,37
Boutheldja	826,00	875,40	187,85	501,80	136,35
Cheffia	815,32	927,85	180,66	504,82	129,84
les Salines	651,00	885,00	91,96	475,90	83,14
Pont Bouchet	614,50	875,40	77,35	455,40	81,75
Ain Berda	630,95	884,95	83,73	474,31	72,91

V.2.3. Coefficient moyen des débits

Le régime d'un cours d'eau est déterminé par le coefficient moyen des débits correspondant aux rapports débits mensuels au module de la période considérée. Il est donné par la formule suivante :

$$\text{Par : } CMD = \frac{Q_i}{Q}$$

Avec :

Q_i : Débits moyens mensuels en m^3/s .

Q : La moyenne.

En effet, le coefficient moyen des débits (CMD) est, quand le CMD est ≥ 1 il s'agit d'un mois de la période de hautes eaux, s'il est < 1 le mois est considéré comme un mois de la période de basses eaux

Les valeurs du coefficient moyen des débits calculés à partir des données hydrométrique d'oued Seybouse sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (Tableau V.) :

Tableau V.4 : Coefficients moyens de débit de l'oued Seybouse

Mois	Station de Mirbek		Station d'Ain Berda		Station Ain Assel		Station Cheffia Barrage	
	Débits moyens mensuels m^3/s	Coefficient moyen de débit	Débits moyens mensuels m^3/s	Coefficient moyen de débit	Débits moyens mensuels m^3/s	Coefficient moyen de débit	Débits moyens mensuels m^3/s	Coefficient moyen de débit
Sep.	3,04	0,27	0,013	0,12	0,14	0,02	0,59	0,16
Oct.	3,7	0,32	0,003	0,03	1,06	0,19	0,57	0,15
Nov.	7,15	0,63	0,008	0,07	2,58	0,45	3,43	0,91
Dec.	14,6	1,28	0,173	1,56	2,86	0,50	5,75	1,52
Jan.	25,3	2,21	0,091	0,82	8,03	1,40	9,23	2,44
Fév.	24,7	2,16	0,304	2,74	6,09	1,06	10,53	2,78
Mar.	25,5	2,23	0,273	2,46	16,12	2,82	5,18	1,37
Avr.	19,5	1,70	0,21	1,89	30,35	5,31	5,8	1,53
Mai	7,11	0,62	0,129	1,16	0,77	0,13	2,41	0,64
Jui	2,94	0,26	0,058	0,52	0,49	0,09	0,64	0,17
Juil.	1,78	0,16	0,012	0,11	0,14	0,02	0,72	0,19
Aout.	1,94	0,17	0,056	0,51	0,08	0,01	0,58	0,15
La moyenne	11,44		0,11		5,72		3,79	



Basses Eaux



Hautes eaux

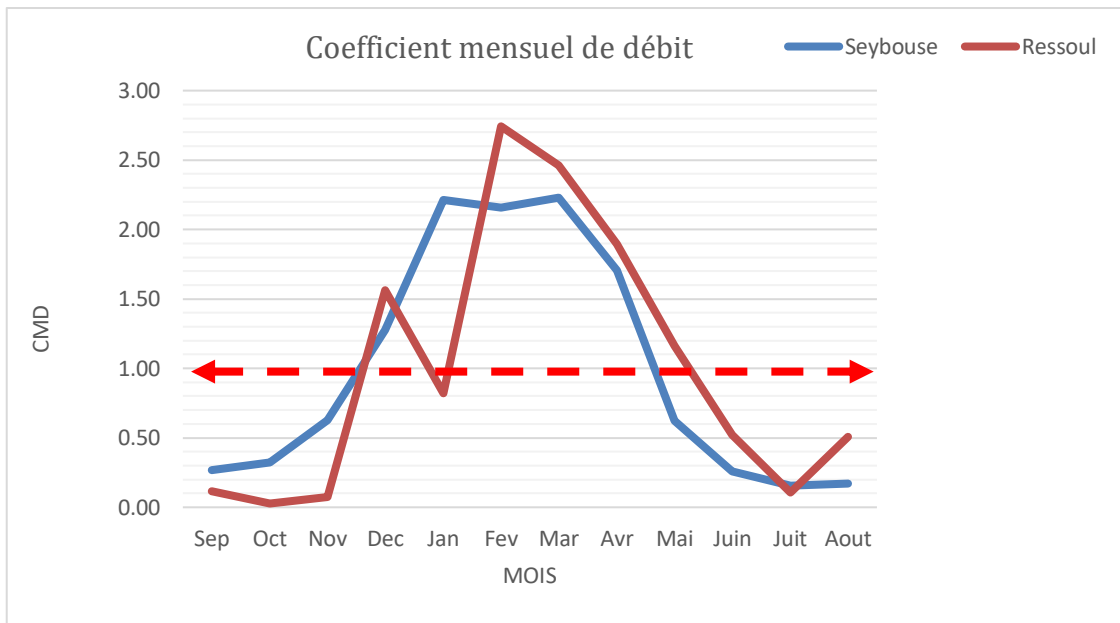


Figure V. 5: Représentation du coefficient mensuel de débits station Mirbek et Ain Berda (1981/1982 – 2006/2007) (Seybouse Annaba).

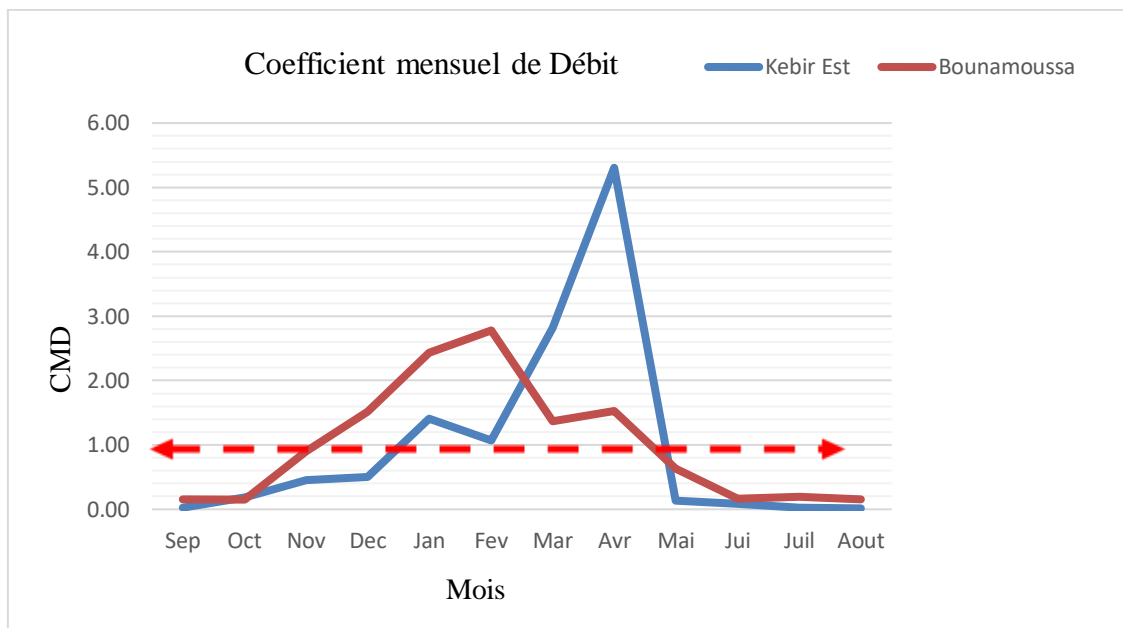


Figure V.6 : Représentation du coefficient mensuel de débits station Cheffia Barrage et Ain Assel (1976/1977 – 2003/2004) (côtier constantinois Est El Tarf).

La Figure V. et V.6 représentent les coefficients mensuels des débits.

- Le premier graphe montre clairement que la période des **hautes eaux** est marquée au cours des 4 mois successifs : décembre, janvier, février et mars pour oued Seybouse, et à oued Ressoul débute en Décembre et se termine en Mai avec une diminution brutale au mois de janvier. La période de **basses eaux** commence le mois de Mai jusqu'à novembre (station Mirbek), à la station de Ain Berda s'étalonne sur sept mois de Mai jusqu'à novembre.

- Le deuxième graphe montre que les hautes eaux correspondent à la période allant de Janvier à Avril pour oued de Kebir Est, alors que les basses eaux correspondent au mois d'Août. Le régime moyen d'oued Bounamoussa comporte une période **de hautes eaux** de Décembre à Avril et une période **de basses eaux** de Mai à Novembre.

V.3. Evaluation des Ressources en Eau :

V.3.1. Ressources en eaux superficielles :

La zone d'étude se situe à l'extrême Nord Est du pays, elle se distingue par la particularité de son climat pluvieux et humide grâce à sa position géographique au bord de mer et la présence de plusieurs lacs Tonga, Oubeira, El Mellah et des Oiseaux dans la wilaya d'El Tarf. Ces précipitations annuelles considérées parmi les plus importantes précipitations dans le pays qui varient de 600 à 1200 mm voir même 1500 mm, permettent un apport hydrique global de près de 700 millions de m³.

Selon L'étude de l'aménagement hydro-agricole de la plaine d'El Tarf réalisée par ENERGPROJECT et ENHYD (1992 in Affoun, 2006), et les données collectées auprès de la direction des ressources en eau de la wilaya d'El Tarf, les apports superficiels mobilisables sont estimés à 497.9 Hm³ dont 281 Hm³ régularisables par rapport à un potentiel hydrique évalué à 546 Hm³.

Le potentiel hydrique superficiel mobilisé entre la grande hydraulique et la moyenne et petite hydraulique est résumé dans le tableau V.5.

L'oued Seybouse et ses affluents apportent en moyenne 338 millions de m³ d'eau de surface par an, soit l'équivalent de 60 % du potentiel en eau de surface du bassin de Seybouse (Mebarki, 2005). En termes de mobilisation des eaux de surface, les conditions topographiques et hydrologiques du sous bassin ne permettent pas la construction d'un barrage, il existe des sites situés en dehors de la plaine d'Annaba qui font l'objet d'études de faisabilité de petites retenues collinaires. Ces retenues jouent un rôle essentiel dans l'irrigation et sa protection contre les inondations.

En période normale, en dehors des cycles de sécheresse, les deux barrages de la wilaya d'El Tarf Cheffia et Mexa régularisent 128 Hm³ (soit 27 % de la ressource mobilisable). Le barrage Cheffia avec un volume régularisable de 95 Hm³/an, assure l'alimentation en eau de la willaya Annaba, El Tarf et l'irrigation du périmètre de Bounamoussa (16 500 ha) ; cet ouvrage permet la mobilisation de 45 Hm³/an pour Annaba. Le barrage Mexa avec un volume régularisable de 33 Hm³/an assure l'alimentation de la wilaya d'El Tarf et de la willaya d'Annaba, cet ouvrage permet la mobilisation de 16 million de m³/an pour Annaba (Djorfi, 2012).

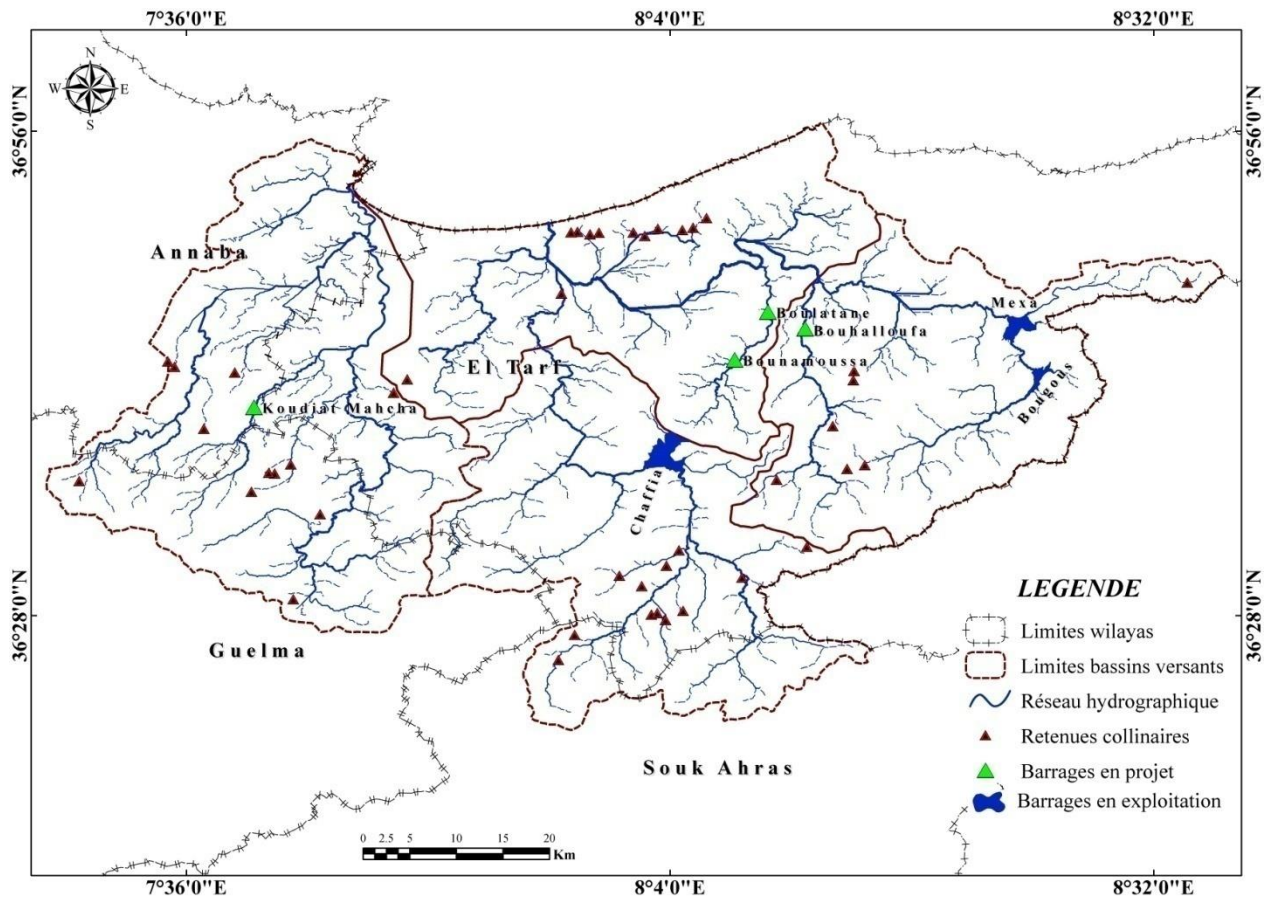


Figure V.7 : Ouvrage de mobilisation des ressources en eau superficielles de l'inter-région Annaba-ElTarf (DERRADJI. F, 2004 et ABH constantinois-Seybouse-Mellegue).

Tableau V.5 : Mobilisation de la ressource superficielle à moyen et long terme.

Nom du barrage	Volume total en (Hm ³)	Volume régularisé en (Hm ³)
Cheffia	169	95
Mexa	60	33
Bougous	52	37
Bouhaloufa	116	59
Boulathane	22	12
Bounamoussa	70	39
Retenues collinaires	4.9	3
Koudiat Mahcha	24	-
Volume total	497,9	281

Le barrage de Bougous est en cours d'achèvement d'une capacité de 52 millions de m³. Cet ouvrage régularise un volume de 37 millions de m³ destiné à l'alimentation en eau potable des wilayas Annaba et El Kala.

Le barrage de Bouhaloufa été Programmé pour 2015, il est encore en cours de réalisation ; les deux barrages Boulathane et Bounamoussa sont en étude de faisabilité.

Pour les retenues collinaires 67 inventoriées à travers toute la wilaya d'Annaba sont réparties sur plusieurs communes 18 retenues à Ain Berda qui se situe dans la zone du sous bassin Seybouse avec un volume de 1,9 Hm³ dont 9 fonctionnelles toutes destinées à l'irrigation. Le bassin versant de la Mafragh recense actuellement 26 retenues collinaires dont 6 fonctionnelles, contribuant à l'irrigation d'une centaine d'hectares (Affoun, 2006).

V.3.2. Ressources en eaux souterraines :

L'approvisionnement en eau de la zone d'étude se fait aussi par la mobilisation de ressources souterraines provenant des champs de captage de Boutheldja, Salines et Pont Bouchet (Lamrous, 2001). Les ressources en eau souterraines dans la région d'Annaba et d'El Tarf forment une richesse naturelle, proviennent essentiellement de l'exploitation de huit nappes dont la répartition des besoins est décrite dans le tableau V.6 :

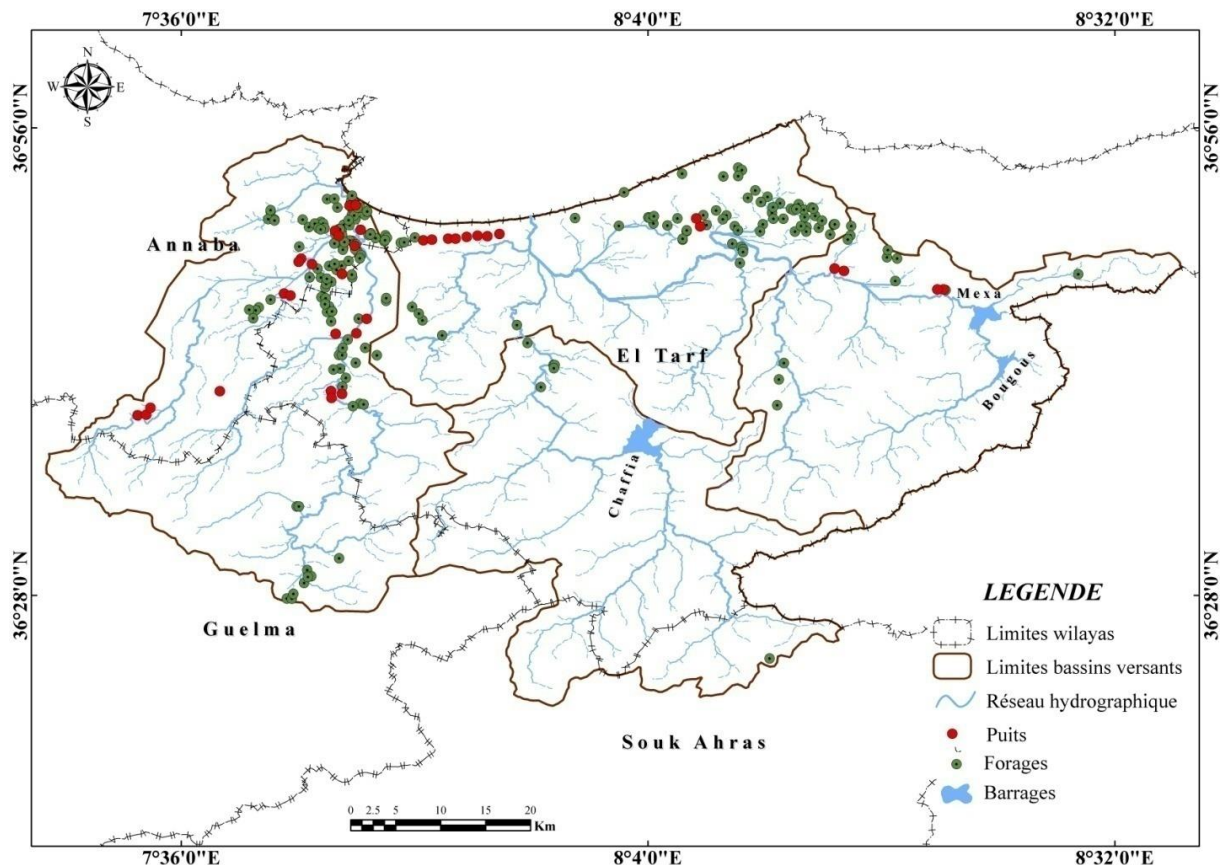


Figure V. 8 : Ouvrage de mobilisation des ressources en eau souterraines de l'inter-région Annaba-ElTarf (Derradji, 2004 & Attoui et al., 2012).

Tableau V.6 : Débits exploitables des différentes nappes souterraines dans le bassin versant de la Mafragh et la plaine d'Annaba (Haied, 2008).

Nappe Sollicitée	Nombre de forages	Volume Théorique Hm ³ /an	Forages existants			Communes desservies
			Affectation Hm ³ /an			
			AEP	IRR	IND	
Nappe dunaire Bouteldja	50+3 Sources	33	32.5	0.4	0.1	2f. IRR : 0.4 Hm ³ /an 1f. IND : 0.1 Hm ³ /an 26F. AEP : Annaba 16.7 Hm ³ /an 21F. AEP : El Kala, Berrihane, El Tarf, Aïn Assel, Bouteldja et Ben M'hidi.
Nappe côtière D'El Kala	02	0.6	0.6	-	-	1F. AEP : El Kala, El Melha. 1F. AEP : Souk R'guibet.
Nappe côtière d'Oum Teboul	07	1.84	1.95	0.25	-	2F. AEP : Oum Teboul. 1F. AEP : Oued El Hoit. 2F. AEP : El Aioun. 2F. IRR .
Nappe alluviale El Tarf-Ain Assel	0.8	2.6	2.6	-	-	8F. AEP : El Tarf, Ain Assel, Bougous.
Nappe des grès	03	0.56	0.56	-	-	3F. AEP : Bougous, ramel Souk, Ain Assel.
Nappe alluviale Bouteldja	12	7.65	7.4	-	0.25	6F. AEP : Annaba 3.78 Hm ³ /an 5F. AEP : Chaffia 2.72 Hm ³ /an 1F. IND : Conserverie 0.25 Hm ³ /an
Nappe alluviale Bounamoussa	08	3.85	3.85	-	-	8F. AEP : Assfour, Ben M'hidi, Zerizer.
Nappe alluviale Seybouse (*)	129	44	24.5	17.5	2	33F. AEP : Besbes, Dréan, Echatt. 90F. IRRG . 6F. ND : conserverie
Total	219	94.1	73.6	18.15	2.36	-

(*) L'eau de cette nappe est d'une mauvaise qualité le taux de salinité est de 1,7 g / l.

Selon Derradji (2004), la région d'étude recèle des potentialités hydriques importantes, qui sont de l'ordre de 97,5 Hm³ d'après l'estimation des réserves en eau souterraine. Le tableau V.7 récapitule les réserves renouvelables des aquifères qui existent dans notre région d'étude.

Selon la même source, le bilan hydrique des différentes plaines de l'extrême Nord-Est Algérien montre que dans le massif dunaire de Boutheldja, le volume d'eau infiltré est le plus grand avec $50.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, suivi de la plaine d'Annaba avec $36,29.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, ce qui démontre l'influence de la lithologie dans le processus d'infiltration (les sables).

En d'autres termes, les ressources souterraines sont largement exploitées à $94,1 \text{ Hm}^3$ à partir de $97,5 \text{ Hm}^3$ soit $96,51 \%$ des réserves renouvelables ou $94,1$ sur $118,5 \text{ Hm}^3$ soit $79,40 \%$ par rapport aux réserves renouvelables des aquifères de Annaba la Mafragh.

Tableau V.7 : Aquifères existants et leurs réserves renouvelables dans le bassin versant de la Mafragh et la plaine d'Annaba (Derradji, 2004).

Les systèmes aquifères		Superficie (Km^2)	H_{moy} (m)	Réserves renouvelables ($10^6 \text{ m}^3 = \text{Hm}^3$)
Plaine de Boutheldja	N.Libre	110	1	8
	N.Captive	110	42	8
Plaine d'El Tarf	N.Libre	100	2	15
	N.Captive	100	5	0.5
Massif dunaire Boutheldja	N.Libre	170	1	34
Plaine d'Annaba	N.des alluvions	320	1	24 / 40
	N.des graviers	300	20	8 / 13
Total				97.5 / 118.5

Cette ressource souterraine est totalement affectée, par 110 forages exploités entre le bassin des côtières Constantinois-Est et la basse Seybouse ce volume diffère d'une année à une autre selon l'état et le nombre des forages fonctionnels, qui sont en général sous-exploités.

V.4. Conclusion

L'étude hydrologique a été abordée par la quantification des débits au niveau des stations hydrométrique de Mirbek ; Ain Barda ; Ain Assel ; Cheffia Barrage avec des débits considérables. On note également une élévation de la lame d'eau d'amont en aval.

Le régime d'écoulement des Oueds de la zone d'étude présente des particularités à système pluvial méditerranéen dans son ensemble, ils sont dépendants du régime pluvial dont les débits sont étroitement liés aux saisons (humide ou sèche).

L'analyse hydrologique des apports en eau de la zone d'étude constituée essentiellement par l'apport moyen annuel d'Oued Seybouse, d'oued Kébir Est et Oued Bounamoussa, ces entrées ont été estimées à 657,92 Hm³/an, ce qui confirme que la zone d'étude a un grand réservoir d'eau superficielle. Appelant ainsi le pouvoir public à une politique rationnelle de mobilisation et de gestion de cette ressource, richesse incontestable.

La zone d'étude est riche en matière des ressources en eaux, elles sont principalement constituées par l'écoulement des oueds (546 Hm³/an pour la Mafragh et 338 Hm³/an pour la Seybouse) qui est l'issue direct des précipitations et du régime des débits. La mobilisation de la ressource superficielle est limitée puisque sur le grand volume qui peut être mobilisable que 138 Hm³/an est actuellement emmagasiné dans les deux barrages mis en exploitation, Cheffia et Mexa.

Toutes ces informations jouent un rôle majeur dans la compréhension du système actuel de gestion de la région d'étude et aide la résolution des problèmes de mobilisation. Ce que nous allons aborder dans la partie qui se suit.

Chapitre VI :

*Analyse de l'hydro-système actuel de l'inter-
région Annaba-El Tarf*

VI.1. Introduction

Selon le « Plans de gestion intégrée des ressources en eau » Manuel de Formation et Guide Opérationnel établi par le Partenariat mondial de l'eau [GWP], United Nations Development Programme [UNDP] et Cap-Net, (2005), dans le cadre de l'Initiative Canadienne, « Programme pour le Développement de l'Eau en Afrique » (GWP, UNDP et Cap-Net, 2005), la connaissance de la situation existante permet de déterminer l'action nécessaire pour réaliser une vision stratégique. Dans ce processus, il est nécessaire de consulter les différents intervenants et organismes gouvernementaux pour comprendre les besoins et les objectifs concurrentiels par rapport à la disponibilité de l'eau. Les problèmes qui se posent lors de l'analyse, une fois liés aux principes de la vision de l'eau ou de la GIRE, commencent immédiatement à identifier les types de solutions qui peuvent être nécessaires ou possibles.

L'analyse des bassins versants comprend deux parties : le portrait du bassin versant et le diagnostic des ressources en eau. Le portrait est la description du bassin versant et de tout ce qui s'y trouve ; le diagnostic est une étude des problèmes de l'eau et des écosystèmes associés ainsi l'explication de : la nature, les effets, la taille et l'emplacement des problèmes dans le bassin versant. Selon les préoccupations des parties prenantes de l'eau, le diagnostic peut aborder un large éventail de sujets. Par exemples : les eaux de surface (quantité et qualité), les eaux souterraines (quantité et qualité), l'approvisionnement en eau, la gestion des cours d'eau, les lagunes, les zones humides et la biodiversité (Gangbazo, 2004).

La diversité des usages dépend du territoire, de son économie et occupation du sol. L'économie industrielle et l'économie agricole deux supports économiques jouant un rôle direct sur le mode d'usage de l'eau et sur les modes de gestion (Charnay, 2010) Sur le bassin versant Seybouse Annaba et les côtiers constantinois Est El-Tarf, deux économies s'opposent : le grand périmètre d'irrigation Bounamoussa et la zone industrielle Annaba.

L'objectif ici n'est pas d'étudier de façon approfondie l'ensemble des usages liés à l'eau sur la zone d'étude, mais le fait de ressortir les besoins et les impacts des principaux usages, et leur satisfaction sur les ressources en eau, et de mettre en avant des nouveaux moyens bien supérieurs pour les évaluer dans l'optique d'une gestion intégrée.

VI.2. L'approvisionnement d'eau de l'inter-région Annaba-El Tarf

Le suivi de l'évolution des besoins en eau à court, moyen et long terme des différents secteurs usagers est important tel que l'alimentation en eau potable (A.E.P), l'irrigation (I.R.R) et l'alimentation en eau industrielle (A.E.I). Cela nous permettra de faire une prévision entre offre et besoins en fonction du temps et de découvrir quel sera l'impact de l'utilisation des ressources en eau (souterraine et superficielle) dans le futur.

La base de donnée qui nous permet d'analyser la zone d'étude s'est faite à partir des informations du PNE (Plan Nationale de l'eau 2010) et recueillies auprès de nombreuses administrations, telles que l'ABH (Agence du Bassin hydrographique), l'ANBT (Agence Nationale des Barrage et de Transfert), l'ANRH (Agence Nationale des Ressources

Hydrauliques), l'ONM (Office National de Météorologie), la DSA (Direction des Services Agricoles), l'ONS (Office National des Statistiques), l'ONID (Office Nationale de l'Irrigation et de Drainage) et l'ADE (Algérienne Des Eaux).

La wilaya d'El Tarf est alimentée par des ressources en eaux, provenant des barrages de Chaffia, Mexa et Bougous et le champ de captage des forages Boutheldja.

Le transport de l'eau pour la région d'Annaba est fait par des prélèvements du lieu de stockage, (ressources en eau souterraine et superficielle) de la zone d'étude, avant distribution aux usagers, ces eaux sont destinées à la station de traitement de Chaiba par une canalisation principale de 1500 mm de diamètre provenant du barrage Chaffia jusqu'à un branchement vers le périmètre irrigué du côté de Zérizer à partir de laquelle le diamètre de la conduite est de 930 mm. Cette station reçoit aussi les eaux souterraines provenant des champs de captage de Bouteldja, Salines et Pont Bouchet, par une canalisation de 100 mm de diamètre (Affoun, 2006).

Les difficultés actuelles en matière des distributions d'eau concernant tout d'abord la régularité de la desserte. On est loin de l'objectif d'une distribution 24/24 heures. Effet les installations ne sont pas dimensionnées pour garantir ce service. Il est à noter qu'au niveau de la ville d'Annaba environ 20 % de la population bénéficie de l'eau 24/24 heures, en général les tranches horaires oscillent entre 6 à 15 heures à travers les communes des wilayas à l'exception de quelques-unes où la fréquence de distribution varie d'un jour sur deux à un jour sur trois en raison de mauvais rendement de l'adduction (la vétusté des conduites).

Plusieurs secteurs sont alimentés à partir d'un réservoir dont la capacité ne permet pas d'assurer les pointes journalières (Insuffisance du stockage), ce défaut de taille de réservoirs est notamment sensible à Sidi Salem, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar. Les débits à transiter sont également élevés en raison d'une surconsommation, sous ce terme on entend des mécanismes de gaspillage par rapport à un usage normal de l'eau. Aussi le défaut de pression, le manque d'équilibrage rationnel des réseaux, ce qui en résulte une pression insuffisante dans plusieurs points des réseaux.

Les fuites sont particulièrement déterminantes (estimé à 35 %) plus d'un quart de l'eau potable distribuée est perdue, cela explique pourquoi l'eau disponible à l'amont des réseaux d'Annaba ne parvient pas correctement jusqu'aux utilisateurs.

En hydrologie, la demande en eau est une valeur, qui doit être déterminée pour permettre une estimation des volumes d'eau, réellement utilisés dans le bassin hydrographique pour évaluer le stress hydrique dans une zone donnée (Fuhrer & Jasper, 2012 ; Milano et al., 2012, Collet et al., 2015), l'ensemble des données qui permettent de chiffrer la demande en eau :

- La démographie qui permet de quantifier la demande domestique.
- Les perspectives de développement urbain qui permettent de quantifier la demande non domestique (touristique, industriel et agricole).

Démographie : La population résidente dans la région d'étude comptait 892 253 habitants en 2010. Les données disponibles sont celles de l'actualisation du plan

d'eau 2010 (PNE, 2010) suite à un traitement de l'information et données de population publiées par l'office nationale de statistique (ONS) à partir des recensements généraux de la population et de l'habitat (RGPH) de 1966 à 2008.

A l'échelle du pays, les différents indicateurs plaident en faveur d'un soutien du rythme d'accroissement démographique jusqu'à l'horizon 2020 puis une phase de stabilisation sur la période 2020 – 2025 et une atténuation du rythme d'accroissement à partir de 2025.

L'industrie : L'eau est un facteur de production industriels, l'eau est présente dans la plupart des processus de fabrication. Elle est néanmoins également utilisée pour les besoins des personnels, le nettoyage des ateliers, des machines et des produits finis.

D'après le plan national d'eau (PNE, 2010), plus des 2/3 de la demande en eau sont captés par le complexe sidérurgique d'El Hadjar, qui est considéré comme l'unité industrielle, grosse consommatrice située dans le bassin limitrophe de la Basse Seybouse. Cette demande s'explique par l'importance des besoins que nécessitent pour leur fonctionnement, les besoins en eau exprimés par ces unités industrielles s'élèvent à 20 Hm³ /an soit 89,44 % des besoins globaux répartis entre ressources superficielles et souterraines.

De plus, d'autres unités industrielles font partie de la demande intense de la zone Seybouse comme : ASMIDAL, la zone Allalik, conserverie Seybouse, Meboudja, Pont Bouchet, le MIN et Fertiel qui s'élève à 3,4 Hm³.

Ces dernières années, le bassin versant de Mafragh a vu la réalisation de quelques unités industrielles, appartenant à des petites et moyennes industries dont l'exploitation est largement développée. L'utilisation de l'eau pour les quelques unités industrielles localisées dans le bassin reste limitée elle n'atteint que 2,36 Hm³ (Affoun, 2006). Par ailleurs, on signale que la demande en eau industrielle globale est obtenue par le document de la PNE et que toutes les unités industrielles de la wilaya d'El Tarf sont alimentées par les eaux souterraines (forages) et par conséquent la consommation se trouve tributaire du degré d'exploitation de ces forages.

Agriculture est observée sur l'ensemble de la zone, avec une très grande variété de cultures, Le périmètre de la Bounamoussa, constitue actuellement le seul grand périmètre irrigué de la zone d'étude d'une superficie totale de 16500 ha dont 14800 ha de superficie irrigable (Affoun, 2006). L'occupation du sol se limite essentiellement aux cultures Maraîchères, cultures industrielles et à l'Arboriculture. De plus la wilaya d'El Tarf a bénéficiée d'une étude d'aménagement hydro-agricole de la vallée d'El Tarf (périmètre de Boutheldja, El Tarf et Ain Assel) sur 9550 ha de terres irrigables.

Les besoins en eau d'irrigation varient selon le type de culture, la superficie irriguée, les conditions climatiques et les techniques d'irrigation utilisées.

Le cycle d'utilisation pour l'eau d'irrigation est centré sur l'irrigant, l'utilisateur irrigant effectue l'irrigation, dans le but de satisfaire les besoins en eau de la plante, qu'il estimera en fonction du rendement recherché. Parmi les conséquences d'irrigation que nous devons prendre en compte, les pertes qui se créent durant le processus d'irrigation (arrosage hors de la parcelle visée à cause du vent, ruissellement hors champ, évaporation, fuites de

canalisation) pour cela nous ne parlons pas de demande en eau des plantes, mais la demande d'irrigation (Calianno et al., 2017).

Le tableau VI.1 résume la situation actuelle des cultures pratiquées (DSA) le mode d'irrigation reste Irrigation traditionnelle (gravitaire), et irrigation moderne (par aspersion).

Tableau VI.1. Dose d'irrigation par type de culture

Type de culture	Cultures industrielles	Culture Maraichères	Jachères	Cultures fourragères	Céréaliculture	Arboriculture
Besoins (m ³ /ha)	4300	3700	4000	7800	7500	8200
Dose moyenne à l'hectare (besoins théoriques) en (m ³ /ha/an) =5917						

VI.3. Traitement des données par WEAP :

Une planification réussie nécessite des modèles efficaces de gestion des ressources en eau (GIRE) qui peuvent résoudre des problèmes complexes. Exécution de WEAP nécessite l'injection d'une grande base de données pour chaque élément dans le réseau. La structure des données et le niveau de détail peuvent être facilement personnalisés pour répondre aux exigences d'une analyse particulière et pour tenir compte des limites imposées lorsque les données sont limitées (Yates et al., 2005). La configuration du modèle a été faite par pas de temps mensuels dont la simulation hydrologique est compatible avec les données existantes dans un cadre mensuel.

Le WEAP a été déjà utilisé en Algérie, des exemples d'applications incluent des études sur l'évaluation des impacts du changement climatique prévus sur la disponibilité de l'eau et la production agricole (Hamlat et al., 2012) et l'évaluation de l'effet des différents scénarios d'offre et de demande ainsi que l'évaluation des options actuelles et futures en matière de ressources en eau (Ouled zaoui et al., 2010).

Le modèle WEAP a été appliqué et limité à une analyse initiale dans le sous bassin d'Oued Seybouse à sa fonction de base sans utiliser ses capacités de simulation des processus hydrologiques ni la consommation en eau (Aoun Sebaiti et al., 2013 ; Lellahem, 2013). Dans cette étude, il a été proposé de bien choisir les outils de gestions et les techniques informatiques adaptées aux données, de faire le traitement des eaux usées, le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre, la réadaptation des réseaux d'eau potable et d'eaux résiduaires dans les études futures.

Dans notre modèle, nous allons commencer notre analyse sur l'oued Seybouse (Annaba) qui présente une région de taux de développement démographique et industriel important, suivi par une analyse approfondie du sous-système de l'inter-région Annaba - El-Tarf le Nord-est de l'Algérie. L'objectif de la présente étude est d'estimer la demande d'eau sectorielle dans le bassin d'Oued Seybouse, y compris la croissance future de la population, de l'agriculture et de l'industrie ; et aider à soulager le stress de pénurie d'eau. Un scénario de l'état actuel et des années prochaines va être élaboré, tout en optimisant au maximum la politique de la gestion des ressources en eau de la région, dans la mesure du possible, ce qui

aura pour effet la baisse de la non satisfaction de la demande en eau et le relèvement du taux de recouvrement, dans le but d'atteindre la durabilité économique et écologique.

VI.3.1. Modélisation de la basse Seybouse par WEAP

Annaba est considérée comme le centre le plus important de l'extrême Nord-Est Algérien, elle est connue par sa plus grande zone industrielle de toute la région qui est aussi une grosse consommatrice d'eau. L'alimentation d'Annaba se fait par la mobilisation des ressources superficielles, à partir de la combinaison des deux barrages de Cheffia et Mexa et par la mobilisation des ressources souterraines provenant des champs de captage de Boutheldja, Salines et Pont Bouchet.

Les champs de captage sont composés de 32 forages à Bouteldja produisant 28000 m³/j, 9 forages aux Salines dont 7 forages fonctionnant 24h/24h assurent 10000 m³/j et 5 forages à Pont Bouchet pouvant assurer 3000 m³/j (actuellement 1 forage en exploitation). Ces derniers forages produisent une eau de mauvaise qualité (RS =1,9 à 2,2 g/l) à des fins agricoles et industrielles, en l'absence d'eau de surface dans la zone leur pompage devrait être réduit pour atténuer l'interaction de l'aquifère du cours d'eau (Djorfi, 2012 ; Hani et al., 2007).

Le périmètre d'irrigation inclus dans la basse Seybouse est irrigable d'une irrigation saisonnière avec une superficie de 6 170 hectares dont 1 010 ha pour les grands périmètres et 5 160 ha en petite moyenne hydraulique.

La figure VI.1 définit les limites de la région d'Oued Seybouse et son réseau hydrographique en utilisant la carte du monde du WEAP.

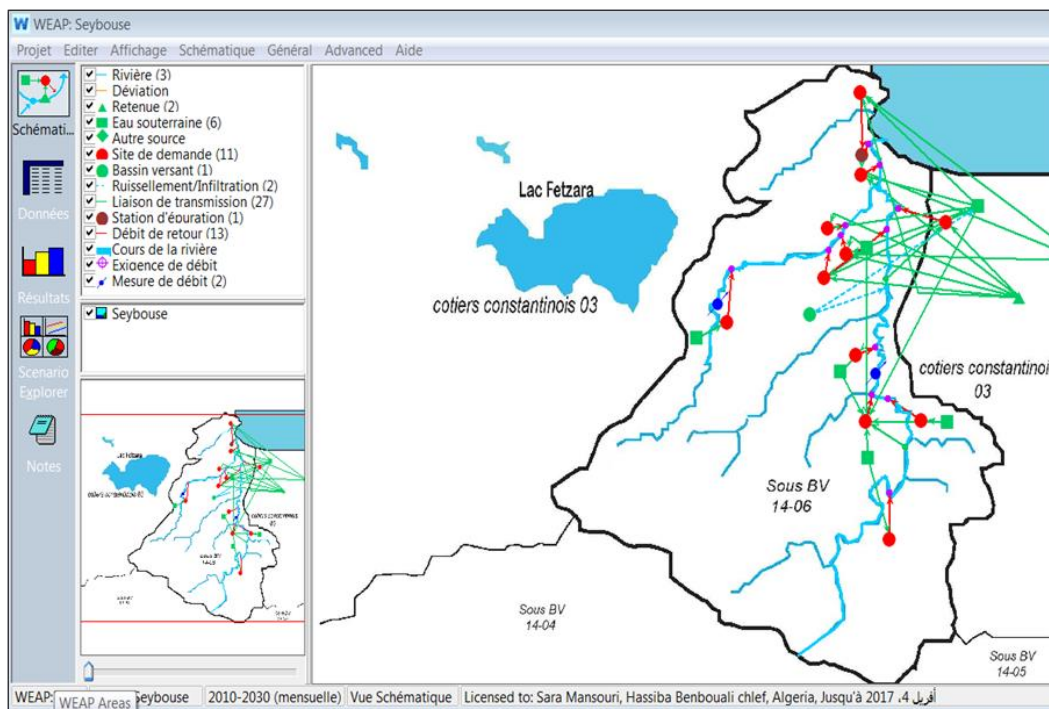


Figure VI.1 : Présentation cartographique de sous bassin versant de la basse Seybouse par le modèle WEAP21.

La figure VI.1 montre le sous bassin d'Oued Seybouse, le réseau hydrographique, les barrages et les sites de demande et le périmètre d'irrigation. On identifie comme ressources : les deux barrages présentés dans le model c'est celle de Chafia et Mexa (Wilaya d'El Tarf) comme ressources superficielles et les forages de Boutheldja, les Salines, Pont Bouchet, et quelques forages provenant de Drean et Ain El Berda comme ressources souterraines.

VI.3.2. Analyse situationnelle : SCENARIO DE REFERENCE :

Le scénario Référence prend les données des Comptes courants dans la période du projet spécifié, ici 2010 à 2030 (L'année 2010 va servir comme état actuel « Current Account ») et sert de point de comparaison pour les autres scénarios dans lesquels des modifications sont apportées aux données du système. L'année de l'état actuel est choisie pour servir comme année de base du modèle et tout le système d'information est introduit dans l'état actuel. L'état actuel est un ensemble de données à partir duquel les scénarios sont construits.

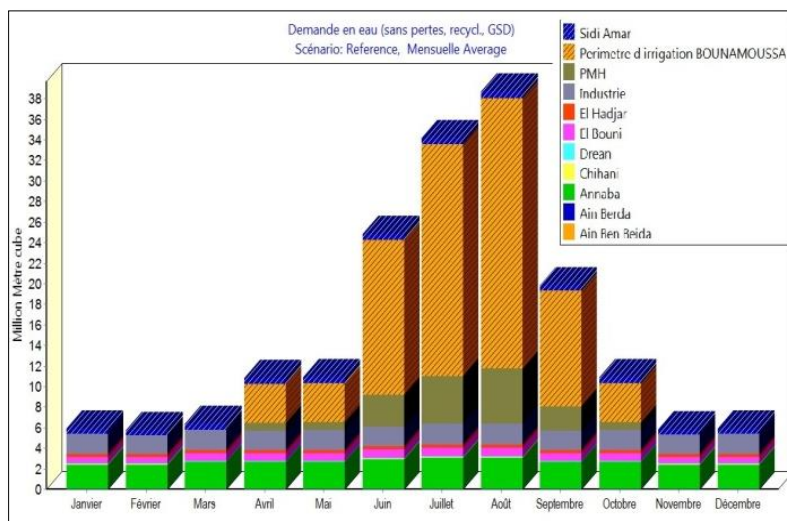


Figure VI.2 : Demande en eau mensuelle (scénario référence).

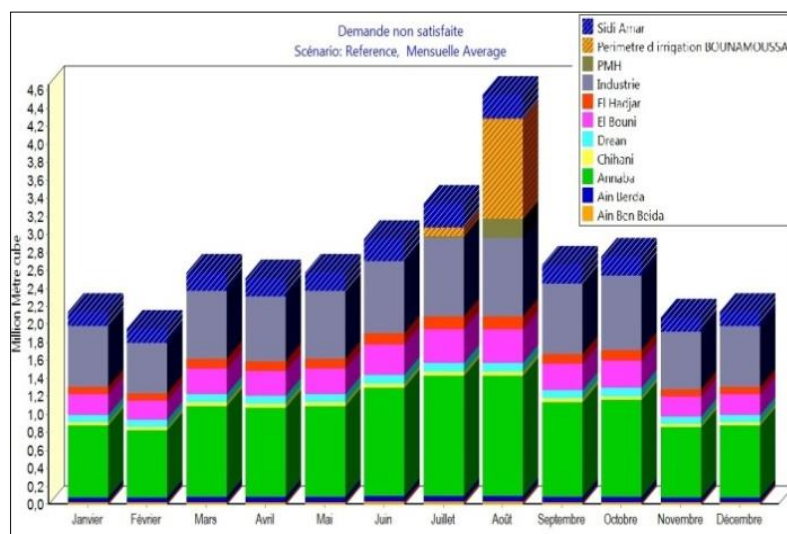


Figure VI.3 : Demande non satisfaite (scénario référence).

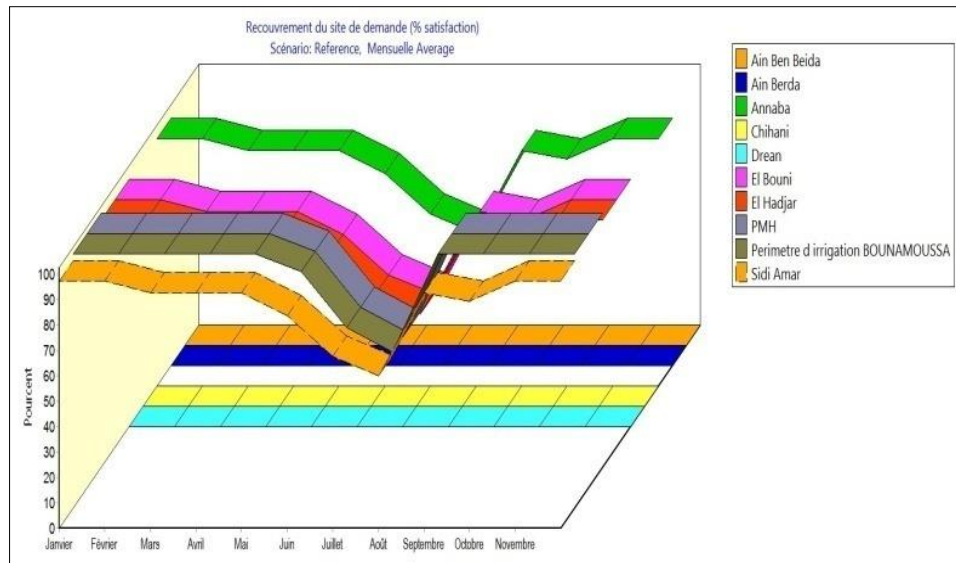


Figure VI.4 : Recouvrement de la demande en eau des différents sites de demande (scénario référence).

Les résultats ci-dessus et le bilan hydrique de la zone d'étude que nous avons étudié dans le chapitre « climatologie » (fig IV.12) confirment que :

- Entre le mois d'avril à octobre (forte ETP, faible pluviométrie) obligent à pratiquer l'irrigation pour garantir un rendement correct des cultures comme les agrumes, le maraichage et les cultures industrielles.
- Entre octobre et Mars/Avril, la pluviométrie permet d'assurer le besoin en eau des cultures.

La figure VI.4 montre l'augmentation de la demande en eau, durant le deuxième et le troisième trimestre, du fait que l'ONID commence son programme d'irrigation qui est alimenté par la même source que les autres sites de demande, et atteint en mois d'Aout une valeur de 38 Mm³ qui en résulte un déficit de 4.6 Mm³ à la même période de l'année (fig VI.3) avec un recouvrement d'environ 50 % de la demande en eau. Le recouvrement de la demande souffre en période estivale par rapport au reste de l'année par contre les sites de demande Drean, Ain El Barda, Chihani Ain Ben Beida leur recouvrement de la demande en eau est presque nul puisque ils sont alimentés à partir des forages et des puits (fig VI.4).

Plusieurs modèles conceptuels de gestion ont été élaborés dans la basse Seybouse indiquant que les paramètres prioritaires des variables socio-économiques doivent être inclus dans les politiques de la gestion de la demande en eau autant, sinon plus, la gestion de l'offre (Aoun sebaiti, 2010). Des nouvelles stratégies et des interventions de gestion, doivent être recherchées pour mobiliser au maximum les ressources superficielles et souterraines, de sorte que la priorité devrait être accordée à la réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture suivie par le dessalement de l'eau, ainsi diminuer le taux des pertes et améliorer la qualité des eaux disponibles (Chouchane et al., 2014). Les variables climatiques et socio-économiques

seront les deux principaux moteurs de la pénurie d'eau dans le bassin à l'avenir, aucun n'a été mis au point pour la gestion intégrée de l'offre et de la demande (Lallahem, 2013).

VI.3.3. Solutions pour assurer l'approvisionnement en eau :

Selon Lasserre et Descroix (2005), la projection des tendances démographiques et de la consommation à l'avenir est une hypothèse selon laquelle ni les ressources en eau ne peuvent être augmentées, ni la pression sur la demande réduite. En réalité, de nombreuses avenues sont disponibles dans ce sens :

I- Une attitude nouvelle : réduire la demande, économiser l'eau

a-Réduire les usages domestiques : Les habitudes d'utilisation de l'eau domestique ne considèrent pas l'eau comme un bien à économiser, Voici quelques exemples qui aident à réduire la consommation domestique: -Remplacer les toilettes et pommeaux de douche classique, permettent d'économiser plus de 45 m³ par an par personne -Le recours à des machines à laver plus économes -Laver sa voiture aux lave-autos moderne qui recyclent souvent leur eau, aident également de réaliser des économies d'eau.

b-Recycler : Une fois l'eau utilisée, elle peut encore être réutilisée, la multiplicité des utilisations successives du même volume d'eau peut réduire la consommation globale, par exemple : les eaux usées d'origine urbaine, retraitées peuvent être réutilisées à des fins d'irrigation ou réutilisées à des fins industrielles.

c-Accroître l'efficacité hydraulique de l'agriculture : L'efficacité des techniques modernes d'irrigation, telles que l'irrigation par aspersion et l'irrigation au goutte-à-goutte, est de 70 % à 90 %, tandis que la technique d'irrigation par gravité ne montre que 40 % du taux de rendement, 60 % de l'eau est perdue par infiltration ou évaporation sans que la plante n'en bénéficie.

5-Importer de l'eau virtuelle : le concept d'eau virtuelle est le remplacement des cultures par l'importation des mêmes denrées, il a été diffusé par les pays souffrant de graves difficultés d'approvisionnement en eau, libérant l'eau à des usages plus rentables (usages domestique, usages industriels).

6- Introduire une tarification de l'eau : l'introduction de mécanismes destinés à souligner la valeur de l'eau s'agisse d'atténuer sa distribution qui conduit à réduire sa consommation, desservir un grand nombre d'individus, ou à développer des systèmes de recyclage, pour inciter les agriculteurs à recourir à des techniques plus économes en eau.

7-Limiter la pollution : la pollution est l'un des facteurs qui réduit les volumes d'eau disponibles pour la consommation humaine. La pollution n'est pas seulement d'origine industrielle, la modération et l'intensification de l'agriculture ont également eu un impact considérable sur les ressources en eau.

II-Raisonnement classique :

a-Le dessalement : la technique du dessalement consiste à extraire le sel dissous de l'eau saumâtre ou de mer pour la transformer en eau douce de qualité.

b-Exporter de l'eau autrement : il s'agit de transporter de grandes quantités d'eau douce sur de longues distances, par des navires-citernes modifiés ou par des sacs en plastique, la fabrication et l'entretien de ces techniques sont très coûteux, de plus ils ont besoin d'infrastructures pour le remplissage puis le pompage, et ne sont que des solutions d'appoint.

c-Capter l'eau des nuages : la collecte de particules d'eau en suspension dans le brouillard est possible, mais cette technique ne pouvait fournir que des volumes pour des utilisations très localisées.

Dans cette partie d'étude nous allons montrer deux scénarios basés en priorité à l'intégration des techniques de : la réutilisation des eaux usées traitées et la réutilisation des eaux usées du secteur industriel pour l'atténuation de la demande non satisfaite.

VI.3.3.1. Scénario de la réutilisation d'eau (REU) :

Ce scénario illustre une diminution d'environ d'un million mètre cube par mois sur la demande non satisfaite et environ trois millions de mètres cube de moins au mois d'Aout (fig VI.5). Le scénario Réutilisation des eaux approche le recyclage de l'eau et la réutilisation des eaux usées épurées. La mobilisation des ressources en eau non conventionnelles est devenue une priorité du secteur pour pallier aux déficits, alors qu'elle n'est pas appliquée jusqu'à présent sur cette région.

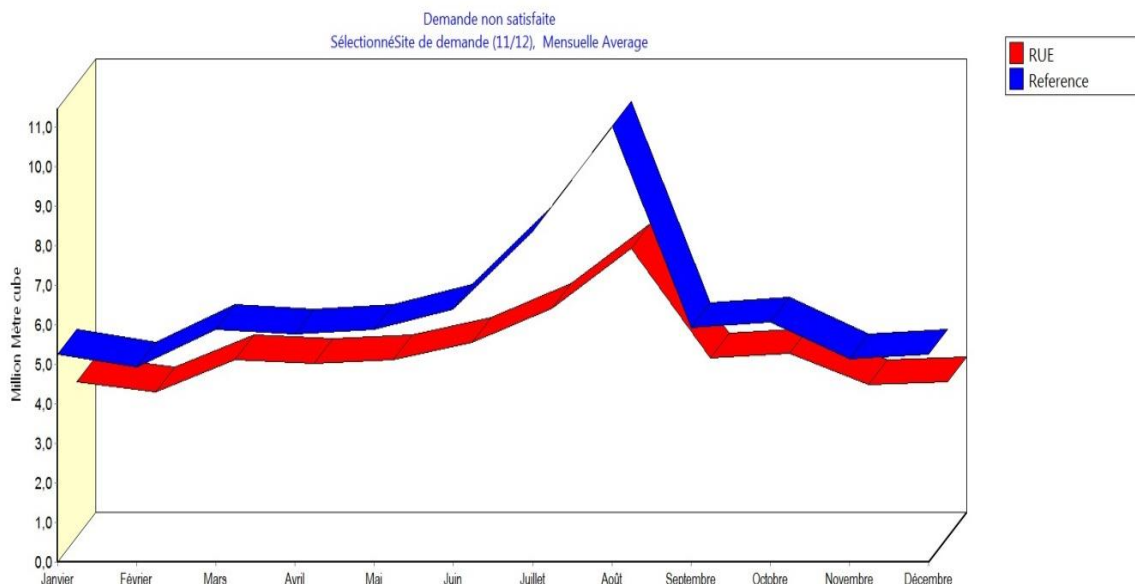


Figure VI.5 : Demande non satisfaite mensuelle des deux scénarii référence et réutilisation de l'eau.

VI.3.3.2. Scénario de la réutilisation d'eau industrielle (REUI)

« L'eau devient plus chère, les industriels ont de plus en plus intérêt à l'économiser en optimisant les processus et en la recyclant à la sortie de chaque unité de travail » précise Roger Ben Aim, chercheur au laboratoire d'ingénierie des procédés de l'environnement (LIPE, Laboratoire rattaché à l'institut national des sciences appliquées de Toulouse).

Selon le Plan National de l'Eau (PNE, 2010) 50 % environ des eaux actuellement rejetées par le complexe sidérurgique d'El Hadjar feront l'objet d'une réutilisation interne, ce qui peut réduire les besoins en eau industriel. Ce scénario montre la réutilisation et le recyclage d'eau de secteur industriel sans prendre en considération le recyclage d'eau qui a été présenté dans le scénario précédent (fig VI.6)

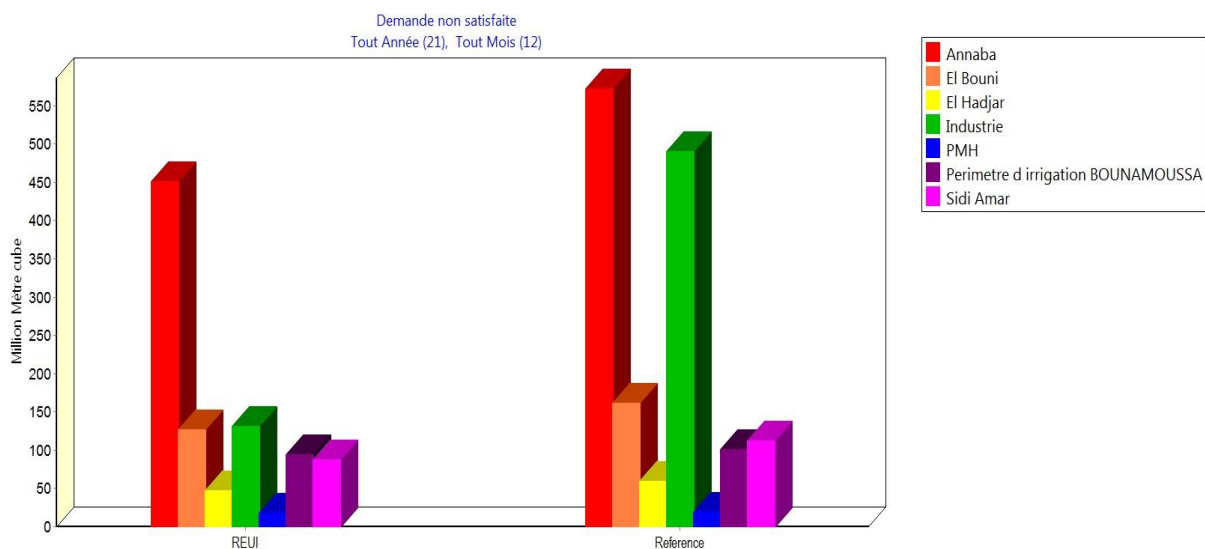


Figure VI.6 : Comparaison de la demande non satisfaite des deux scénarii référence et réutilisation de l'eau industrielle.

Il apparait clairement la différence entre la demande non satisfaite de scénario Référence de 2010 jusqu'à 2030 et le scénario REUI tout le long de vingt et un ans, le recyclage d'eau du secteur industriel permettra d'atténuer la demande non satisfaite dans les autres secteurs (eau domestique et agricole) qui sont alimentés par la même source.

Les deux scénarios REU et REUI porteront sur la recherche de solution tendant à apporter une réponse à la problématique de la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) notamment en agriculture.

La première analyse de la zone d'étude qui a été faite par le modèle WEAP, a présenté une projection des besoins annuels non satisfaits, composée de quatre scénarios de demande socio-économique et un scénario de changement climatique. Cette approche simplifiée montre qu'au cours des 20 prochaines années, on peut s'attendre à des réductions beaucoup plus importantes de la disponibilité de l'eau et à une augmentation accrue de la demande d'eau d'irrigation dans la région, dues au changement climatique et au développement socio-économique (Aoun sebaiti et al., 2013 ; Lellahem, 2013).

Dans notre recherche avec le même model WEAP nous avons analysé des scénarii plus détaillés, pour comprendre la situation et identifier les problèmes existants ainsi que la faiblesse qui affectent le système afin de l'améliorer, nous avons testé deux stratégies de gestion, ces résultats confirment que la gestion des ressources en eau dans la région nécessite des améliorations considérables afin de répondre à la disponibilité spatiale et temporelle de l'eau.

VI.4. Modélisation de l'inter-région Annaba-El Tarf par WEAP

La situation actuelle de l'approvisionnement des besoins globaux et l'analyse approfondie du sous-système de l'inter-région Annaba – El Tarf nécessitent des données de base importantes. La zone d'Annaba et d'El Tarf sont intimement liées, nous allons analyser la relation entre l'offre et la demande en eau et l'évolution des besoins en eau de ce système plus au moins à long terme (2010-2050), la figure ci-dessous présente la carte cartographique finale de l'inter-région de sous bassin de la basse Seybouse (Annaba) et le bassin versant de côtier constantinois Est (El-Tarf) par le modèle WEAP21.

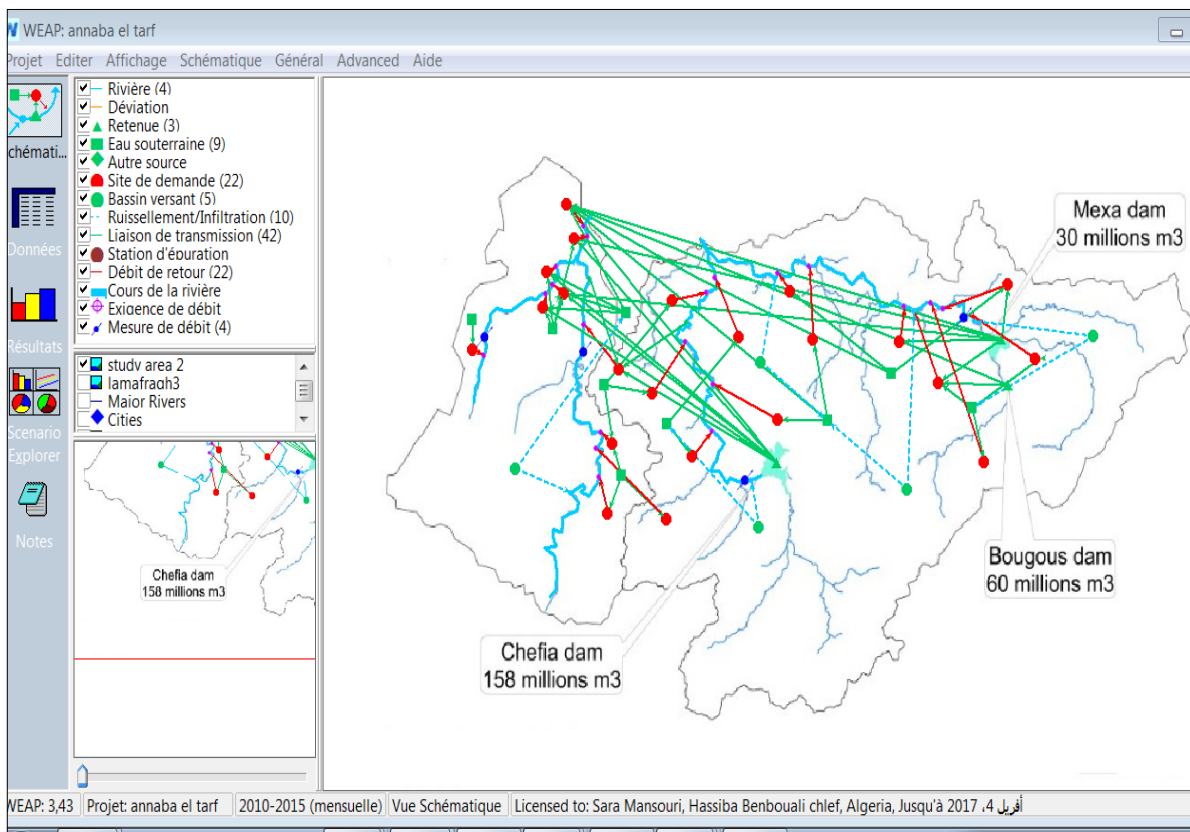


Figure VI.7 : Présentation cartographique finale de la zone d'étude par le modèle WEAP21.

Le calcul des résultats du système est composé de trois étapes : une année de compte courant (2010) choisie comme année de référence du modèle, une période de référence ou un scénario de référence (2010-2050) établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution probable du système sans interposition c'est-à-dire : taux d'accroissement de

population actuelle 1,8 % (PNE, 2010), des pertes de réseaux d'AEP estimé à 35 % et une dotation moyenne actuelle 120 l/j/hab.

D'autres scénarios vont être élaborés par la suite pour évaluer les effets des changements socio- Economiques, et changements climatiques probables dans le futur.

Les besoins en eau se rapportent aux quantités essentiels à utiliser pour assurer une efficacité minimale voulue, l'application des fonctions requises par les divers usages : usage domestique et publique (l'AEP - Alimentation en Eau Potable - est prioritaire en Algérie), usage industriel et usage agricole.

VI.4.1. Scénario de référence :

L'analyse de l'hydro-système de l'inter région Annaba-El Tarf permet d'identifier les forces et les faiblesses dans la gestion des ressources en eau, afin de préciser les aspects qui devraient être traités afin d'améliorer la situation et être sur la voie de la réalisation de la vision. Comme résultat final, des nouvelles stratégies peuvent être proposées selon les problèmes et les questions identifiées, de même que les priorités des sites de demande.

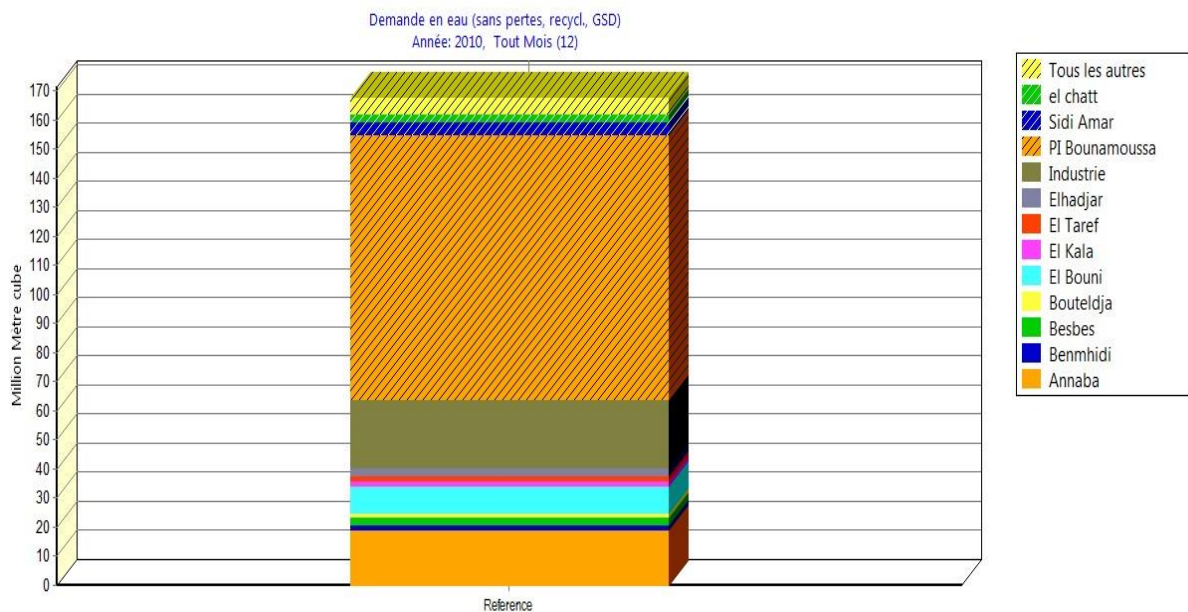


Figure VI.8 : Demande en eau globale de l'année de référence 2010

Le résultat de l'analyse montre la demande en eau globale de la zone d'étude, qui est estimée à 170 millions m³ par an, cette demande varie de secteur à l'autre et d'une agglomération à une autre (eau domestique, industrie, irrigation) ;

« Le principal utilisateur d'eau à travers le monde demeure, et de loin, l'agriculture, puisqu'elle est responsable, en moyenne mondiale, de 70 à 75 % des prélèvements » (Lasserre & Descroix, 2005), le secteur agricole se présente comme le grand consommateur d'eau dans la région, avec une demande de 90 millions m³ suivi par le secteur industriel qui consomme 25 millions m³ (sidérurgique El-Hadjar) suivi par la grande ville Annaba. La figure suivante

montre la demande en eau de chaque site de demande soit eau domestique, industrielle ou agricole.

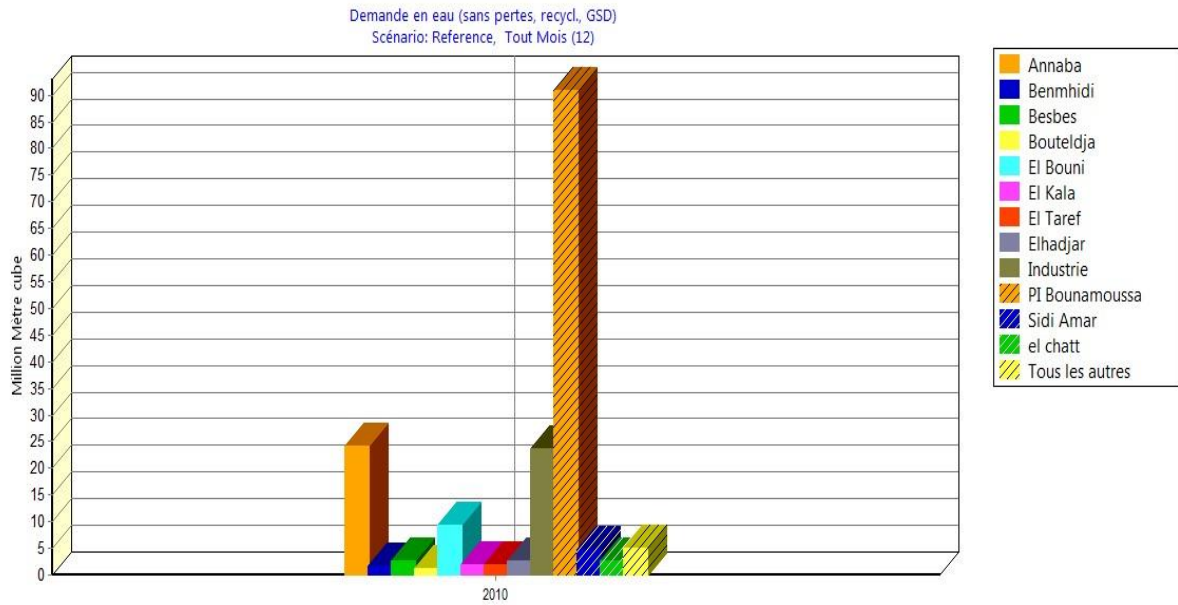


Figure VI.9 : Demande en eau par site de demande de l'année de référence 2010.

Pour détailler en plus, le système de mobilisation des ressources en eau de la région et préciser la faiblesse qui l'affecte, nous avons essayé de montrer les résultats des demandes non satisfaites globales et mensuelles du système de la même année de référence (2010) qui sont présentés dans les figures VI.10, 11 et 12.

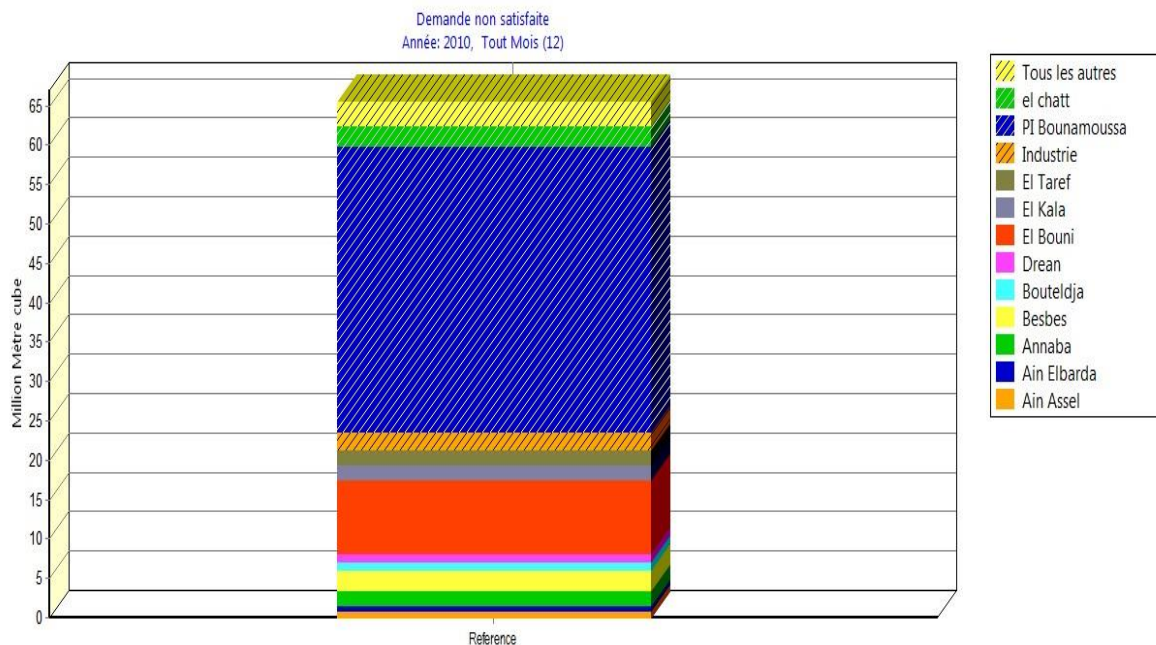


Figure VI.10 : Demande non satisfaite globale de l'année de référence 2010.

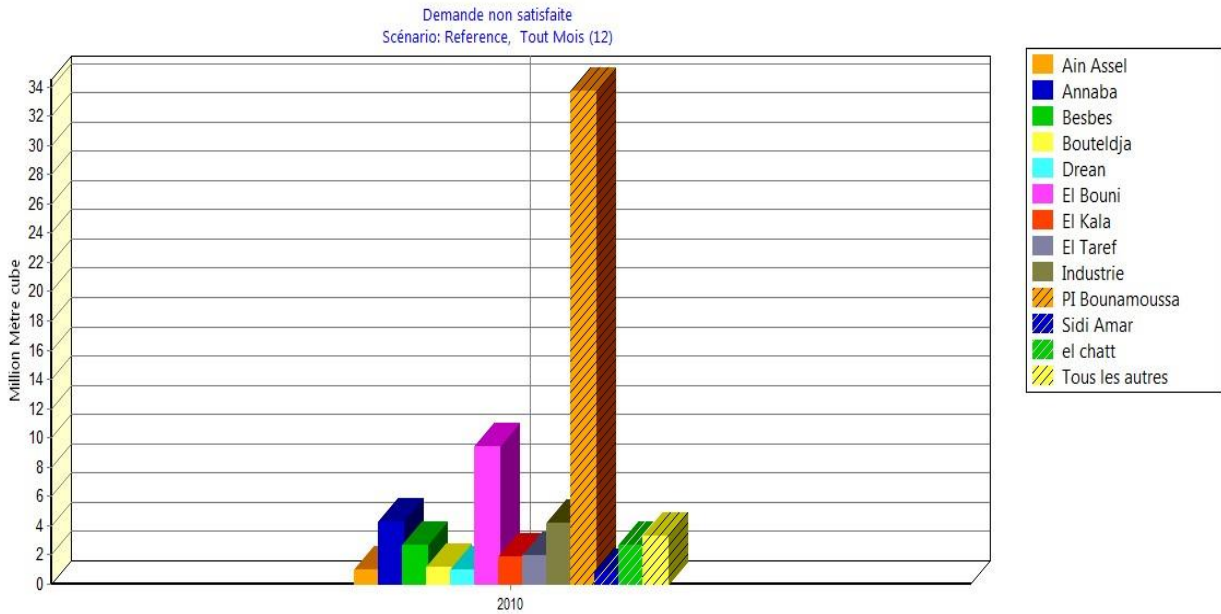


Figure VI.11 : Demande non satisfaite par site de demande de l'année de référence 2010.

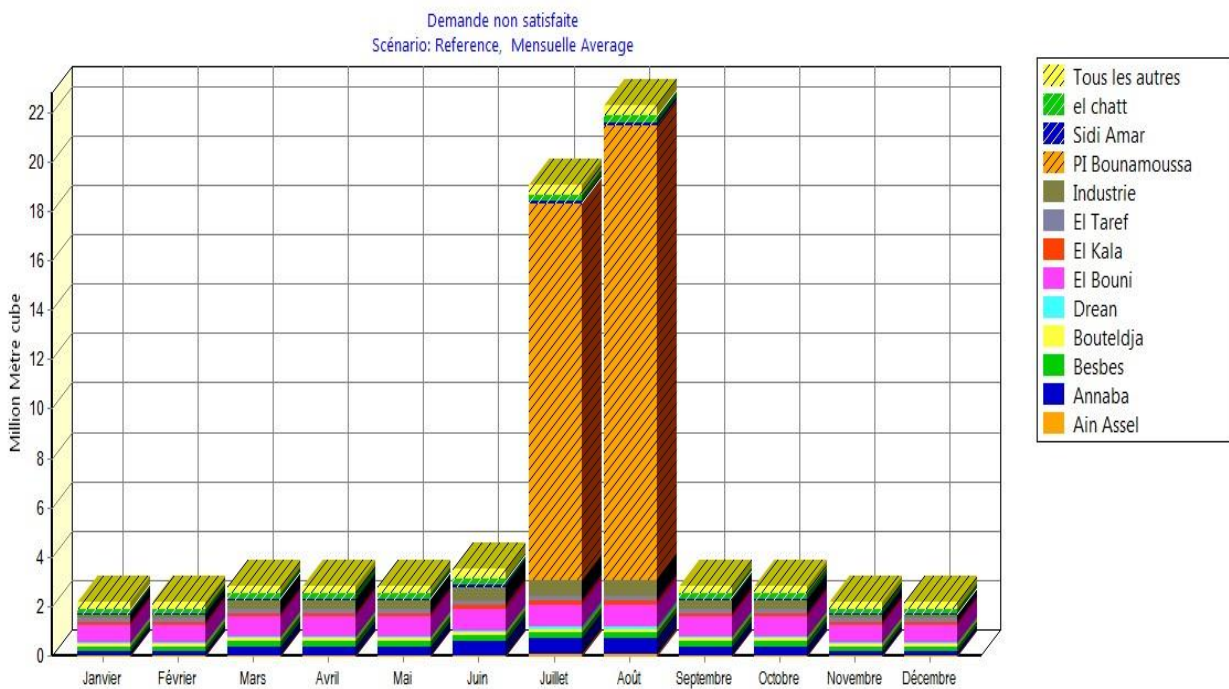


Figure VI.12 : La demande non satisfaite par mois de l'année de référence 2010

Au cours du premier trimestre, la demande non satisfaite varie entre 2 et 3,5 millions de m³ par mois, la zone d'étude est plus déficitaire en été, car le site agricole manque d'approvisionnement en Juillet et Août, quand il a besoin de plus d'eau, la demande non satisfaite augmente ainsi.

En comparant entre la demande non satisfaite de la première analyse au niveau de la basse Seybouse (Annaba) (fig VI.3) et le résultat de la zone d'étude complète (inter-région), nous trouvons que la demande non satisfaite de cette dernière est légèrement supérieur dans

toute l'année de référence sauf la période d'été qui dépasse en mois d'Aout les 20 millions m³, vu l'addition du reste de la superficie du périmètre d'irrigation de Bounamoussa et l'introduction de nouveaux périmètres d'irrigation projetés, qui permettra d'améliorer et de sécuriser la base productive du bassin et de la région (fig VI.13). Ceci explique que les agriculteurs qui utilisent l'irrigation là, où elle n'était pas pratiquée, augmentent rapidement la demande agricole en eau (Lasserre & Descroix, 2005).

L'eau des barrages (existants et à construire) devrait être largement affectée pour le développement de ces milliers d'hectares de terres agricoles.

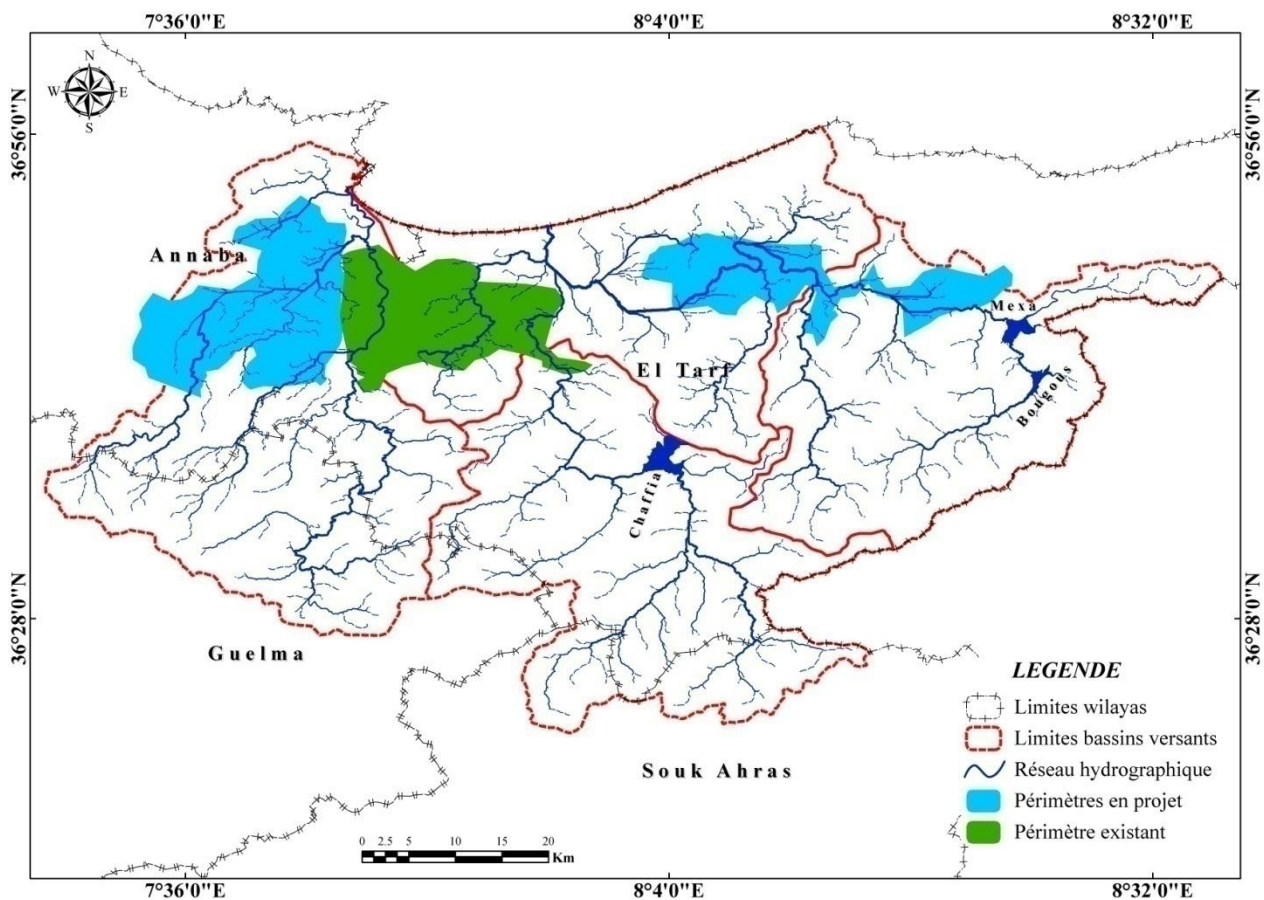


Figure VI.13 : Périmètres d'irrigation de la zone d'étude (Mebarki, 2005).

En réalité l'irrigation de ces superficies est très limitée, elles n'ont jamais dépassé les 7500 ha dans le périmètre de la Bounamoussa, depuis sa mise en service en 1980 (Affoun, 2006). Le problème de développement de l'agriculture est loin d'être un problème de disponibilité des ressources hydriques dans la région, mais un problème de politique de gestion et de contrôle des plans de mise en cultures.

Le graphe ci-dessous présente le recouvrement de quelques sites de demande de la zone d'étude, le résultat montre que certains sites de demande sont recouverts à 100 % comme Asfour et Benmhidi, le site de demande « périmètre d'irrigation Bounamoussa » est le moins recouvert au mois de Juillet, Août.

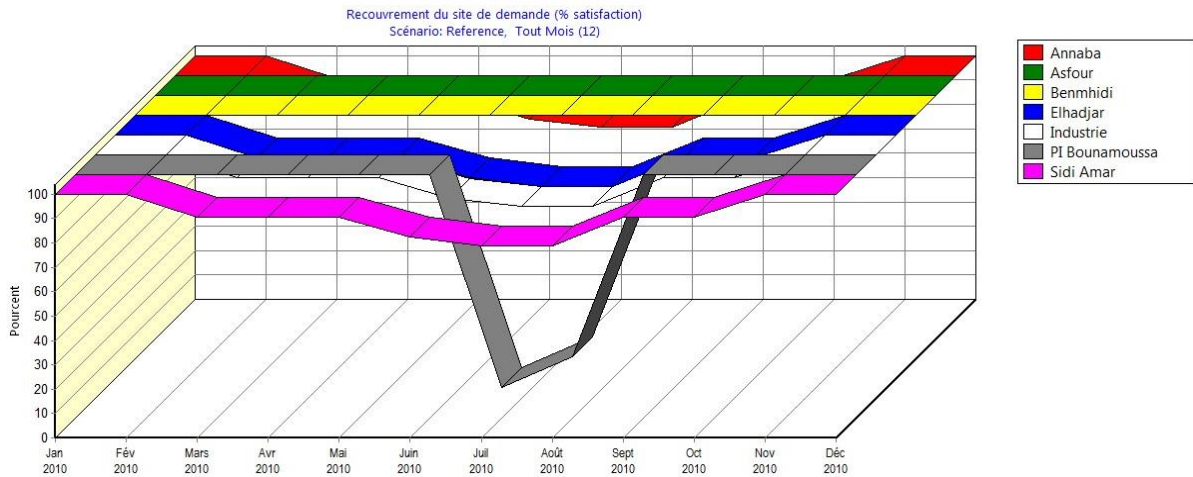


Figure VI.14 : Recouvrement de certains sites de demande de l'année de référence 2010.

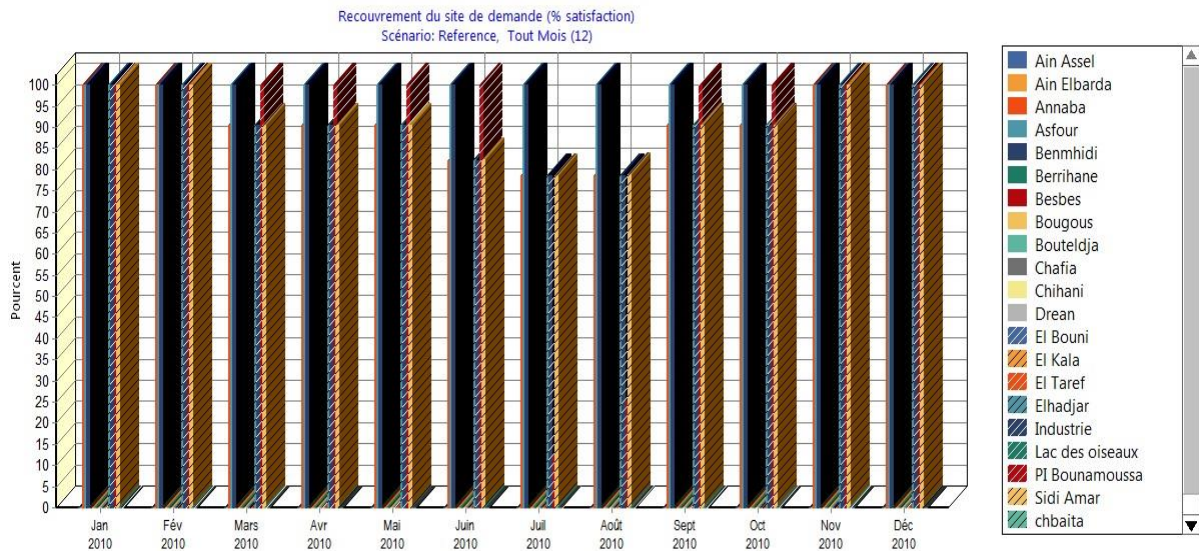


Figure VI.15 : Recouvrement de tous les sites de demande de l'année de référence 2010.

VI.4.2. Scénario fort accroissement de la population :

La question de l'eau est inséparable du développement durable, en ce sens que l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Cette phase d'étude est consacrée à l'analyse du fonctionnement du système, par des Scénarios en prenant en compte son environnement et les évolutions prévisibles à moyen et long terme.

L'estimation quantitative des besoins en eau, est établie suivant des normes unitaires, en tenant compte des paramètres socio-économiques, en ce qui concerne l'AEP tel que degrés de croissance de population et dotation. Pour l'évolution de la population WEAP utilise la formule fréquemment utilisée par les services statistiques et de la population (ONS).

$$p_f = p_n (1+a)^n$$

Où : p_r : Population a l'horizon voulu ;
 p_n : Population a une année de référence ;
 a : Taux d'accroissement démographique global moyen (%) ;
 n : Nombre d'années qui séparent l'année de référence à l'horizon voulu.

Si on considère que le taux d'accroissement de population observée ses dernières années, 1.8 % (PNE, 2010) difficile d'être produit dans les prochaines années, Nous essayons d'évaluer la demande en eau, selon un taux d'accroissement de populations plus élevées (3 %), ainsi la demande non satisfaite correspondante. les deux graphes suivants montrent La projection des besoins en eau de la population par horizon.

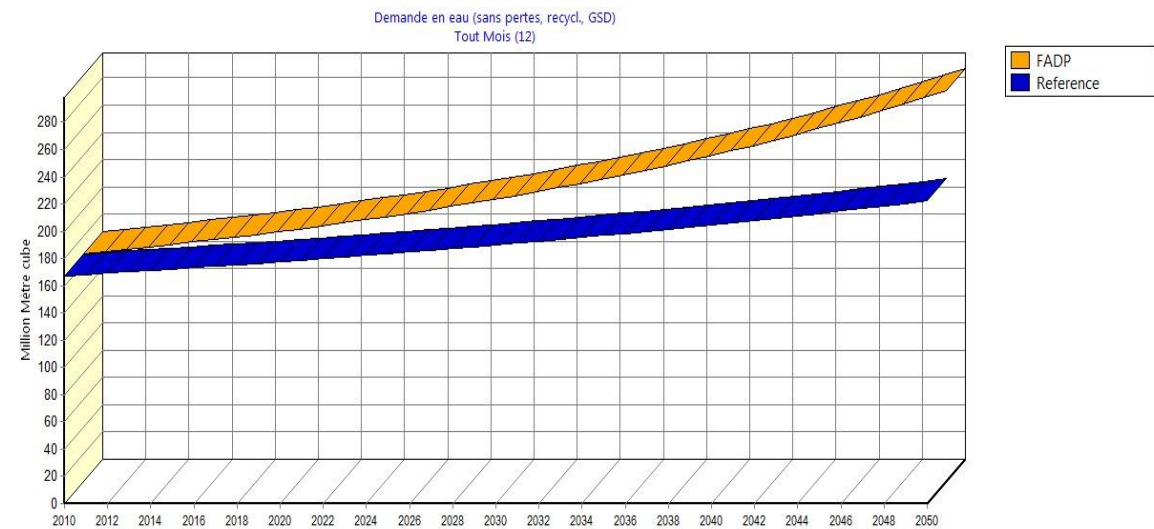


Figure VI.16 : Demande en eau de la zone d'étude pour les deux taux d'accroissement (1,8 % et 3 %).

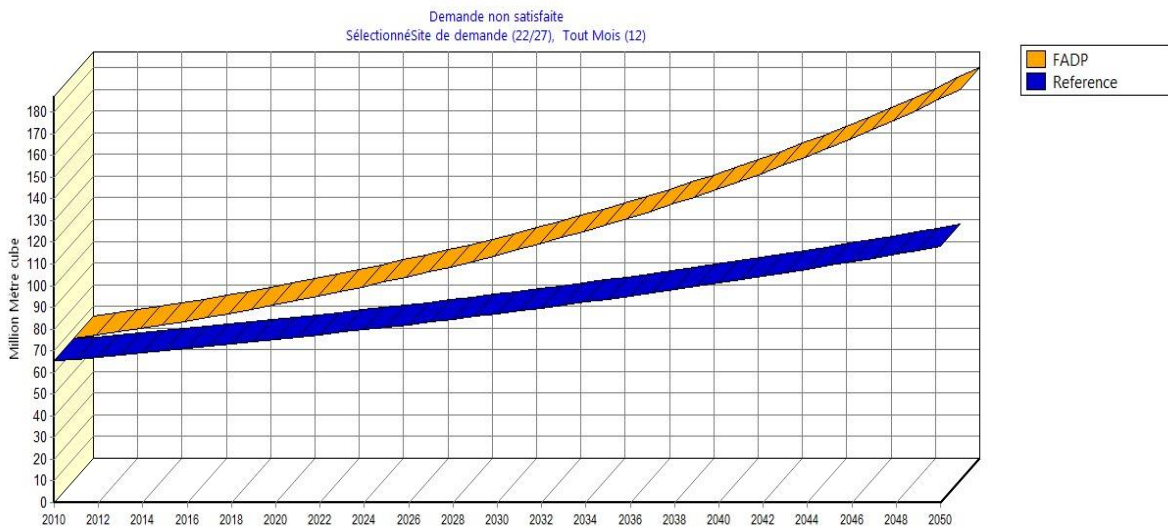


Figure VI.17 : Demande non satisfaite de la zone d'étude pour les deux taux d'accroissement (1,8 % et 3 %).

La croissance démographique, l'urbanisation et les progrès de l'industrialisation, se combinent pour créer une demande en eau toujours croissante. Pour faire face à ces poussées,

les organes de la zone d'étude sont appelés à assurer des adductions d'eau de plus en plus lointaines.

Les résultats montrent clairement que la demande en eau en 2050, est plus importante que le scénario de référence et ça sans prendre en considération l'avenir probable d'un changement climatique à sec et l'ambitieux programme de mise en place des nouveaux périmètres d'irrigation qui vont conduire à de vastes pénuries d'eau.

VI.4.3. Scénario de changement climatique à sec :

Le Changement climatique : facteur aggravant

Les données climatiques enregistrées au cours du 20^{ème} siècle dans la région du Maghreb découvrent un réchauffement estimé à plus de 1° C avec une tendance accentuée ces trente dernières années (PNUD Algérie, 2009), une modification du climat est donc inévitable et il en résultera des impacts :

Sur les écoulements de surface : les déficits pluviométriques ont un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, entraînant de graves conséquences sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays (Tabet aoul, 2000).

Sur les eaux de barrages : la diminution du ruissellement et l'envasement affectant des changements sur les retenues des eaux de surface (Kadi, 1997). La diminution des apports de ruissellement, des eaux de surface ne permet pas de remplir suffisamment les barrages existants. La fragilité du couvert végétal, le manque de boisement et l'urbanisation en amont des barrages et la nature des terrains en pente, créent une forte érosion qui rend le stockage des barrages moins de 2 à 3% chaque année, à cause du transport et le dépôt de sédiments par les eaux de pluie (Parry, 1991 ; PNUD Algérie, 2009).

Sur les nappes phréatiques : La diminution des pluies due aux sécheresses et la surexploitation des nappes phréatiques ont engendré la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions du pays à titre d'exemple : la Mitidja, Oran, Terga et Annaba (Tabet aoul, 2000).

Sur l'irrigation : la sécheresse fréquente au cours des trois dernières décennies, a accentué le phénomène de dégradation des sols, engendre ainsi la désertification des plusieurs zones. Les inondations intenses pourraient entraîner une érosion et une dégradation des sols plus importantes. Ces terres forment de véritables potentiels agricoles qui assurent la sécurité alimentaire du pays ainsi que la protection de la frange côtière (Arrus, 2006).

Les experts du domaine indiquent que l'on devrait s'attendre à l'accentuation des phénomènes météorologiques (pluies torrentielles, tempêtes...) qui seront de plus en plus violentes et dangereuses. En outre, le changement climatique génère des problèmes d'assainissement et d'hygiène ayant des implications sur la santé publique (PNUD Algérie, 2009). D'autres impacts sont aussi étudiés : la perte de biodiversité et la dégradation

d'écosystèmes, la hausse du risque de famines, les mouvements de populations, ainsi que les incidences sur la santé (Bolin, 1980).

Le changement climatique accélérera la surexploitation des ressources et augmentera le taux de demande non satisfaite, comme le montre notre résultat d'analyse de l'hydrosystème de l'inter-région Annaba-El Tarf pour faire face au changement climatique à sec (CCS) (fig VII.18). Une action rapide pour adapter la zone d'étude au changement climatique sera beaucoup moins coûteuse que les dommages qui résulteront de ce phénomène (PNUD Algérie, 2009 ; Nichane et al., 2015).

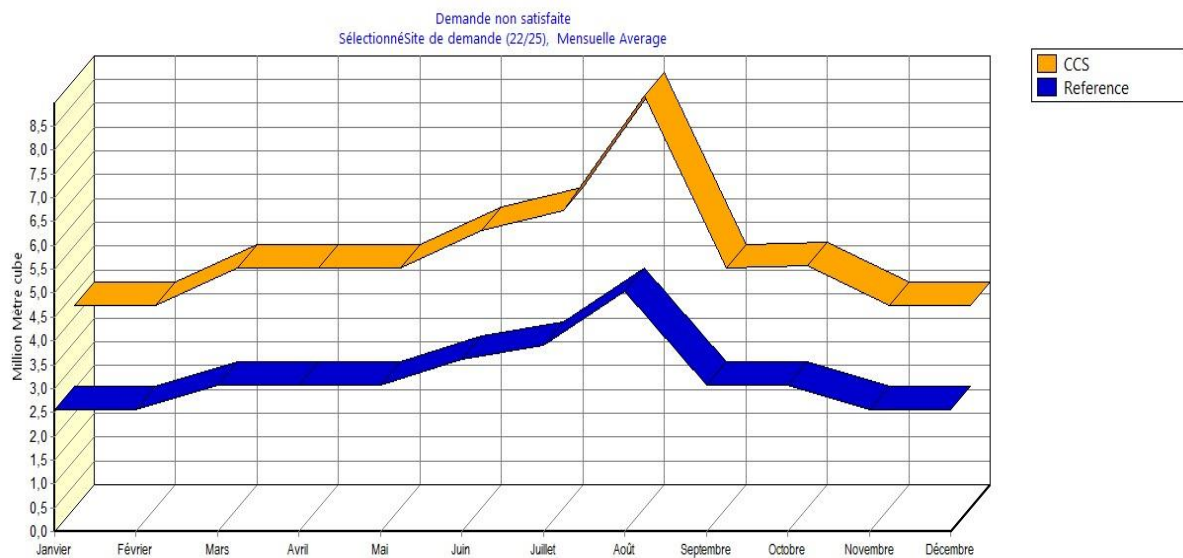


Figure VI.18 : Demande non satisfaite mensuelle des deux scénarii référence et CCS.

VI.5. Conclusion :

Nous avons approfondi l'analyse du système par rapport à ce qui a déjà été fait pour comprendre la situation, identifier les problèmes existants et les faiblesses qui affectent le système pour communiquer aux gestionnaires de l'eau les résultats qui confirment que la gestion des ressources en eau dans la région exigera des améliorations considérables pour répondre à la disponibilité spatiale et temporelle de l'eau.

La première analyse au niveau de la basse Seybouse (Annaba), et l'analyse de l'inter-région Annaba-El Tarf, ont montré que la zone d'étude souffre de non satisfaction de la demande surtout en période d'été. La simulation du modèle a permis aussi de mettre en évidence les conséquences probables d'un développement démographique et un changement climatique à sec. Il semblerait que la zone d'étude est sensible à une grande pénurie d'eau d'ici 2050. Afin d'assurer les ressources en eau nécessaires, nous proposerons dans le chapitre suivant des stratégies de gestion et de planification de l'eau. Pour gérer cette eau de manière équitable et durable en développant des scénarios illustrant le taux de satisfaction de la demande par rapport à l'état actuel et au scénario de référence.

Chapitre VII :
Planification à court et à long terme

VII.1. Introduction

Une partie de la solution à la crise actuelle de l'eau est une meilleure gestion de son utilisation (Burton, 2001). La gestion intégrée et la planification des ressources sont recherchées pour évaluer les projets qui ont des avantages pour la fiabilité du système ainsi que le type et l'ampleur des applications qui peuvent être satisfaites. L'abstraction nécessaire de la phase de planification oblige ensuite l'adaptation permanente des projets selon la logique sectorielle et selon les caractéristiques de la région (Bibeault, 1999).

Nous proposons ci-dessous des scénarii ajustés pour rendre le système plus fiable, cette étape de la recherche a pour but essentiel de constituer une aide à la décision (AD) pour définir les principales options politiques de gestion des ressources en eau de la zone d'étude. Pour pallier au déficit d'eau dans la région, il faut augmenter la capacité de stockage, minimiser les pertes et explorer d'autres réservoirs beaucoup plus rentables (Remini, 2010), nous nous sommes basée dans cette partie de l'étude sur la mobilisation de nouvelles ressources, qui donne des possibilités d'amélioration par rapport à la situation actuelle par quatre scénarii qui ont été construits et analysés à partir de l'ensemble des Suggestions suivante :

- ✓ La réutilisation des eaux usées au bénéfice de l'irrigation et de l'industrie ;
- ✓ La de recyclage des eaux industrielles;
- ✓ La compensation du déficit de la zone côtière par le dessalement de l'eau de mer et l'économie de l'eau ;
- ✓ L'intégré des nouveaux barrages en cours de réalisation et en projets.

Ces solutions doivent être analysées en tenant compte des conditions, des avantages et des inconvénients supposés et leur faisabilité.

VII.2. Scénario 1 : Recyclage et réutilisation des eaux usées épurées (REUE)

Les eaux usées provenant d'un site de demande sont envoyées vers différentes destinations, telles qu'une station d'épuration ou l'environnement récepteur (Oued, mer), tandis que les sites nécessitant une réutilisation directe de ce rejet.

La réutilisation des eaux usées s'est généralisée grâce aux progrès technologiques du siècle dernier. L'eau non potable peut être utilisée directement pour l'irrigation, comme liquide de refroidissement dans l'industrie, ou pour maintenir le débit des fleuves, ou la reconstitution des nappes aquifères, surtout aux villes où l'approvisionnement en eau douce est limité (Greenfactes, 2008).

Le recyclage des eaux usées (REU) est une pratique très répandue dans les régions qui souffrent une pénurie des ressources en eau, dont les principaux exemples sont le Japon, le

bassin méditerranéen (Tunisie, Chypre, Espagne), les Etats-Unis (surtout la Californie), mais aussi l'Asie et le Golfe Persique.

Selon le ministère des ressources en eau (MRE, 2012), l'Algérie doit réutiliser les eaux usées épurées, en priorité pour les zones déficitaires en eau conventionnelle.

Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office national d'assainissement) à travers les 43 wilayas, quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture (Hannachi et al., 2014). Un plan d'action est en cours d'étude entre l'ONA et l'ONID (Office Nationale de l'Irrigation et de Drainage) pour définir le potentiel réel de réutilisation des eaux usées traitées des stations d'épuration exploitées par l'ONA pour l'irrigation de grands périmètres irrigués (GPI) gérés par l'ONID à l'échelle nationale (MRE, 2012).

La wilaya d'El-Tarf dispose de quatre stations d'épuration situées à Zerizer, El Gantra, El Kala, Asfour depuis 1982 réhabilitées en 2006, le total de la capacité nominale est de 37 000 équivalents habitants pour un débit total de 5 000 m³/j.

La station d'épuration des eaux usées Allalik (Annaba) traite les eaux usées de la ville d'Annaba, d'El Bouni, Boukhadra, Sidi Salem, Boucedra et Bouzaaroura depuis 2010, ses eaux sont collectées dans une station de relevage et conduites par un collecteur DN 1200, sa capacité nominale est de 580 700 équivalents habitants pour un débit à 100 % (83 620 m³/j). Le procédé épuratoire retenu pour la STEP d'Annaba « boues activées faible charge » permet d'envisager une qualité de rejet compatible avec la REUE (OTV & DRE, 2012) ;

La mobilisation des ressources en eau non conventionnelles présente un réel intérêt environnemental dans l'extrême nord-est, elle est devenue une priorité sectorielle pour pallier le déficit. Il fournit une ressource en eau de plus que les ressources en eau brute existantes des barrages existants (Cheffia, Mexa, Bougous), cette stratégie n'est pas encore mise en œuvre dans la région et nous essaierons dans ce scénario de l'intégrer dans le système.

Les usages de la réutilisation des eaux usées épurées que nous allons étudier sont les suivants :

- Utilisation pour les usages urbains (arrosage des espaces verts, nettoyage de la voirie, nettoyage des canalisations)
- Utilisation agricole des eaux usées épurées avec un traitement tertiaire.
- Utilisation industrielle des eaux usées épurées : Sidérurgie Arcelor-Mittal et usine chimique Fertial sont potentiellement demandeurs ; Arcelor-Mittal est par ailleurs le plus consommateur actuel d'eau brute.
- Utilisation en stockage inter-saisonnier dans le barrage de Koudiat Mahcha : les eaux usées épurées seront utilisées ultérieurement pour l'irrigation des cultures de futur périmètre irrigué au sud de la plaine d'Annaba de plus de 9000 hectares (BG & DRE, 2011) que nous allons traiter dans le scénario 4.

Les résultats de l'intégration de la stratégie de réutilisation des eaux usées épurées dans le système actuelle sont présentés ci-dessous :

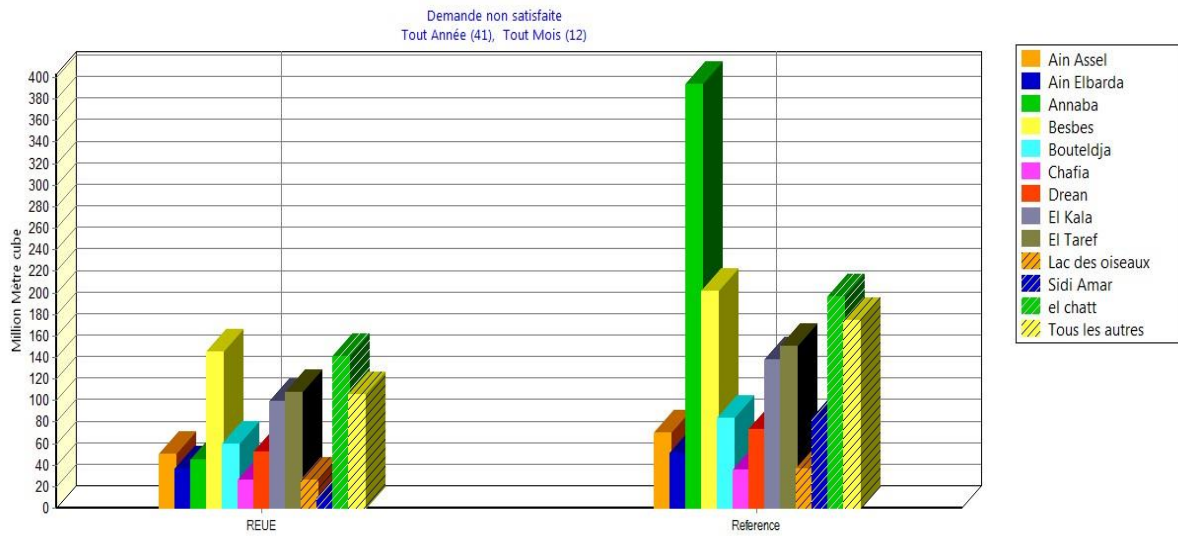


Figure VII.1 : Demande non satisfaite des deux scénarii référence et REUE.

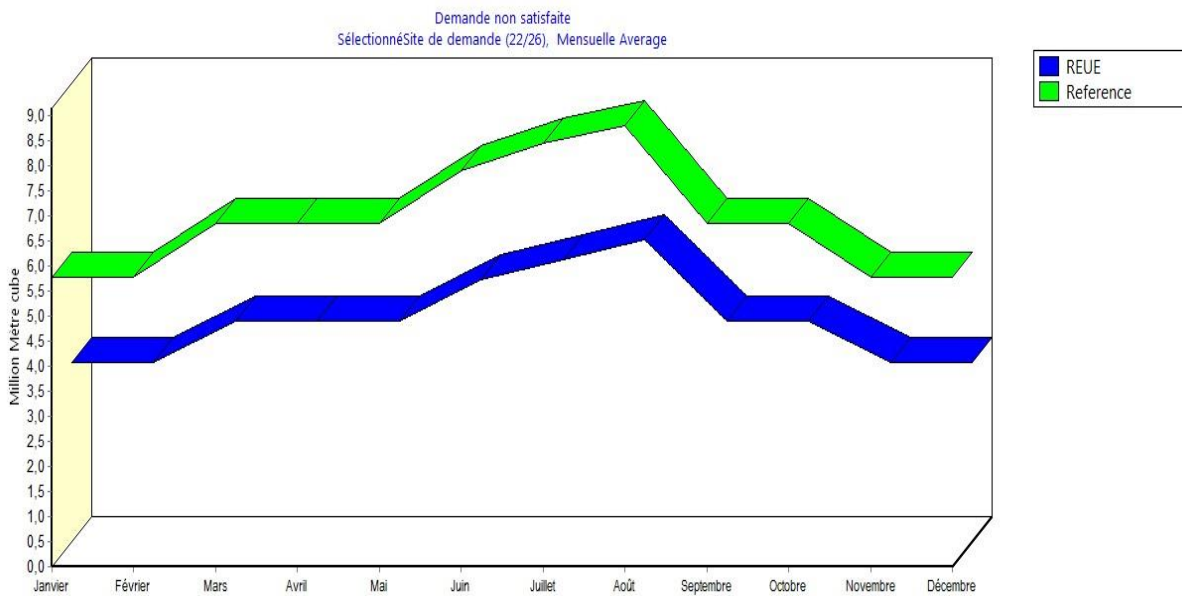


Figure VII.2 : Demande non satisfaite mensuelle des deux scénarii référence et REUE.

La figure VII.1 montre une réduction substantielle de la demande non satisfaite de la zone d'étude lorsque nous utilisons la stratégie de recyclage de l'eau et la réutilisation des eaux usées épurées. La figure VII.2 illustre une diminution d'environ deux millions mètres cube par mois sur la demande non satisfaite et environ trois millions de mètres cube de moins au mois d'août.

Le résultat montre quand la ressource dite «non conventionnelle» remplace l'apport actuel d'eau brute, elle augmente le potentiel de production d'eau potable et fournit une nouvelle ressource pour différents usages - agricole, industriel et urbain. Le recyclage des eaux usées épurées représente une solution pour faire face à la demande croissante des ressources hydriques pour

l'irrigation. En même temps, c'est une façon naturelle de réduire les impacts à l'environnement et de fournir les nutriments (surtout l'azote et le phosphore) qui fertiliseront le sol. Il est donc illogique de continuer de déverser l'eau traitée dans les oueds lorsque la région a besoins de ces eaux pour satisfaire ses besoins.

Qui est le plus concerné? Localités ou conditions dans lesquels ce moyen semble le mieux adapté

Le recyclage des eaux usées est adapté surtout aux régions qui ont des ressources en eau limitées par rapport à la demande existante. Et pourtant, certaines cultures sont plus adaptées que d'autres à cette technique en fonction des risques inhérents à la consommation des produits irrigués avec de l'eau recyclée.

Parmi les cultures où le REU s'applique, on trouve l'orge, le maïs, l'avoine, le coton, l'avocat, les choux, les laitues, la betterave à sucre, la canne à sucre, l'abricot, l'orange, la prune, la vigne, les fleurs et les bois.

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) propose une classification des cultures en fonction du niveau de risque pour les consommateurs et pour les agriculteurs.

Risque faible

- Cultures industrielles non destinées à la consommation humaine (par exemple le coton, le sisal) ;
- Cultures traitées par la chaleur ou le séchage avant d'être destinées à la consommation humaine (par exemple les céréales, les oléagineux, les betteraves à sucre) ;
- Les légumes et les fruits cultivés exclusivement pour la mise en conserve ou autre traitement qui détruit efficacement les germes pathogènes ;
- Les cultures fourragères et d'autres cultures d'aliments pour les animaux qui sont récoltées et séchées au soleil avant consommation

Risque moyen

- Pâturages et cultures fourragères herbacées ;
- Cultures pour la consommation humaine qui ne sont pas en contact direct avec des eaux usées, à condition que rien ne soit ramassé sur le sol et que l'irrigation par aspersion ne soit pas utilisée (par exemple l'arboriculture, les vignes) ;
- Cultures pour la consommation humaine après cuisson (par exemple les pommes de terre, l'aubergine, la betterave) ;
- Cultures pour la consommation humaine dont la peau n'est pas mangée (par exemple les agrumes, les bananes) ;
- Toutes les cultures non identifiées comme « Risque élevé » si l'irrigation par aspersion est utilisée.

VII.3. Scénario 2 : Réutilisation de l'eau industrielle (REUI)

Les usages industriels ont une consommation régulière tout au long de l'année, en tenant compte de la légère variance liée au développement potentiel de l'activité ou aux besoins spécifiques. Il faut distinguer deux grandes utilisations de l'eau dans l'industrie sidérurgique Arcelor-Mittal gros consommateur d'eau :

- Le refroidissement indirect par des échangeurs souvent soumis à des températures de l'eau élevées. Les eaux d'appoint selon les cas seront décarbonatées ou déminéralisées. Ces circuits peuvent aussi être fermés ;
- Le refroidissement direct, soit en lavage de gaz, soit en granulation de produits ou en décalaminage, dans lesquels l'eau se salit et doit être constamment traitée dans le circuit. L'eau d'appoint sera de l'eau décarbonatée ou de l'eau brute.

Pour cela, nous avons besoin d'une évolution continue de l'offre à travers la réutilisation de l'eau de ce secteur (recyclage de l'eau) et réaliser une station de traitement tertiaire au niveau de l'usine ou bien au niveau de la station d'épuration des eaux usées Allalik à partir de laquelle l'eau sera transférer pour aboutir à une satisfaction de la demande en eau. Les résultats de ce scénario montrent la réutilisation et le recyclage de l'eau du secteur industriel sans tenir compte du recyclage de l'eau présenté dans le scénario précédent.

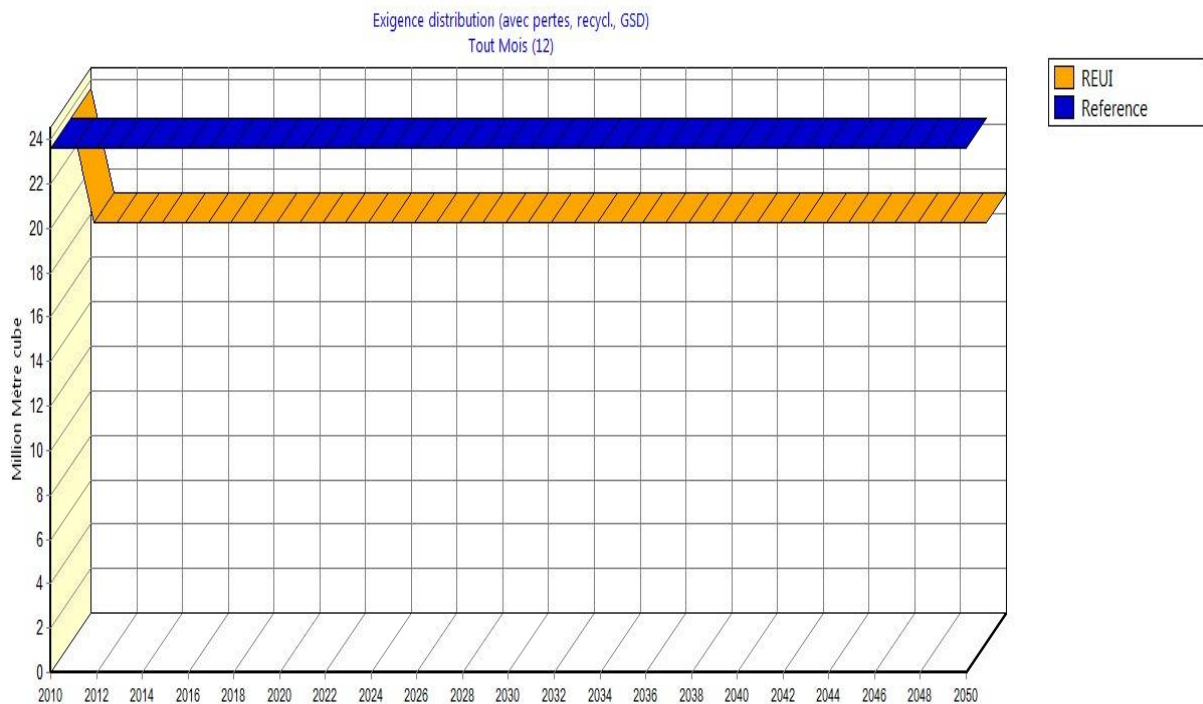


Figure VII.3 : Exigence de distribution de site de demande 'industrie' des deux scénarii référence et REUI.

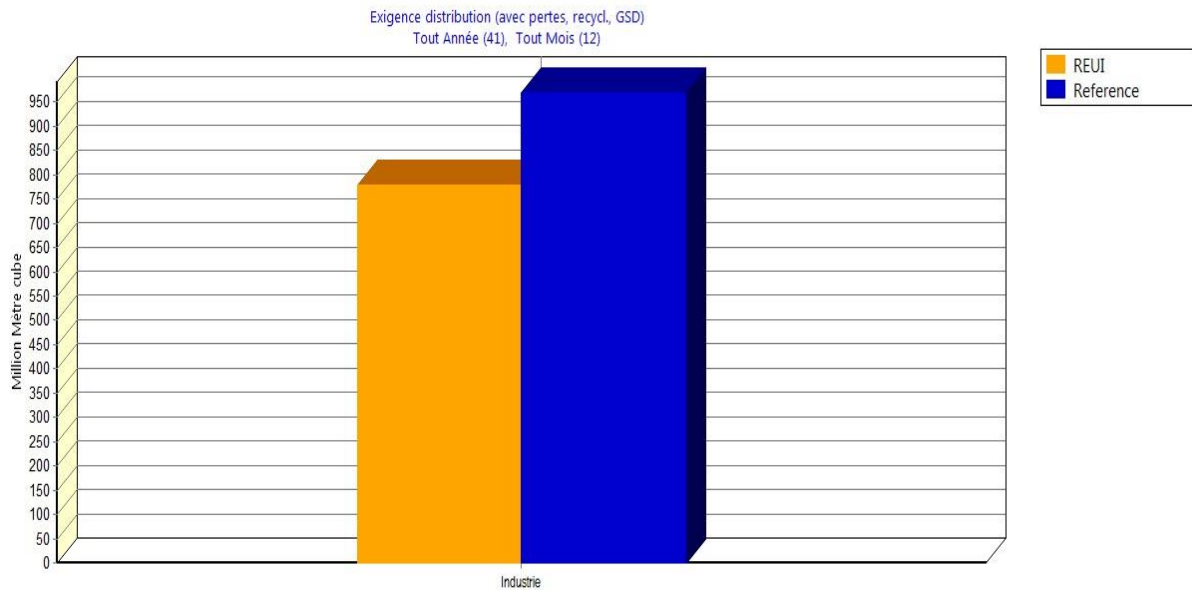


Figure VII.4 : Exigence de distribution de site de demande 'industrie' des deux scénarii référence et REUI (2010-2050).

Le résultat de recyclage d'eau du secteur industriel montre un recul de 6,72 million m³ par an (fig VII.3) et 188,82 million m³ de moins en termes de besoin de distribution de 2010 à 2050 (fig VII.4) ce qui atténuera également la demande non satisfaite dans d'autres secteurs (eau domestique et agricole) qui sont alimentés par la même source.

Même si cette solution est active à un niveau très spécifique, elle opère d'une perspective intégrée à la gestion de l'ensemble du bassin versant et de la région et elle est considérée comme une contribution au processus de gestion intégrée.

VII.4. Scenario 3 : Nouvelles ressources en eau (barrage, retenue)

Les barrages hydrauliques ont un rôle structurel indéniable dans l'espace, mais sont soumis à diverses contraintes liées à la gestion des infrastructures de ressources, à la planification de l'utilisation de l'eau, aux menaces de pollution et au problème épineux de la vase. Ce dernier phénomène est particulièrement important dans les régions méditerranéennes touchées par une érosion très active (Mebarki, 2009).

La stratégie hydro-agricole dans la wilaya d'El-Tarf, principalement basée sur une exploitation rationnelle des ouvrages hydrauliques pour développer l'efficacité de l'agriculture en augmentant la superficie irriguée, des ressources en eau avec un volume de 150 Hm³ prévues pour la mise à la disposition des agriculteurs. Ces nouvelles ressources hydrauliques proviendront des barrages de Bouhalloufa, Boulathane dont les travaux de construction sont entamés en 2014 et Bounamoussa de capacité de 24 Hm³ (Wilaya d'El-Tarf).

Une retenue collinaire de Koudiat Mahcha 24 Hm³ (wilaya d'Annaba), devrait être réalisée durant la même période (un barrage-réservoir pour le stockage des eaux usées traitées de la STEP de l'Allalik en vue d'une éventuelle réutilisation dans l'irrigation et l'industrie) (DRE, 2011). Une superficie supplémentaire sera ainsi irriguée, représentant le futur périmètre de la vallée d'El-Tarf de 22500 hectares, ce qui permettra de donner un "souffle nouveau" dans le secteur agricole dans cette région pour la contribution de l'objectif national d'assurer la sécurité alimentaire. Le barrage de Bouhdid est en cours d'étude destiné à l'écrouissage des crues d'Oued Bouhdid de la wilaya d'Annaba. Les apports moyens annuels sont estimés à 2,3 Hm³, son volume mort prévu est de 85000 m³, ce qui permet de disposer d'un lac d'agrément. La capacité de stockage des eaux du barrage représente environ 6 Hm³ proposé comme stockage tampon de sécurité principalement pour les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (DRE, 2011).

Dans ce scénario nous allons essayer d'intégrer une nouvelle ressource (NRM) d'un volume de 145 million m³, pour la réalisation à court terme des deux détentions de Bouhdid et Koudiat Mahcha qui permettront de stocker un volume de 26,5 Hm³/an, en plus, les deux barrages déjà planifiés (Bouhalloufa, Boulathane et Bounamoussa) à moyen et long terme qui pourront stocker à leur tour un volume régularisable de 110 Hm³/an. Pour montrer si les barrages construits, planifiés ou à l'étude seront-ils capables de répondre adéquatement aux besoins croissants en eau ? Et cette stratégie peut-elle aider à la gestion actuelle des ressources en eau ?

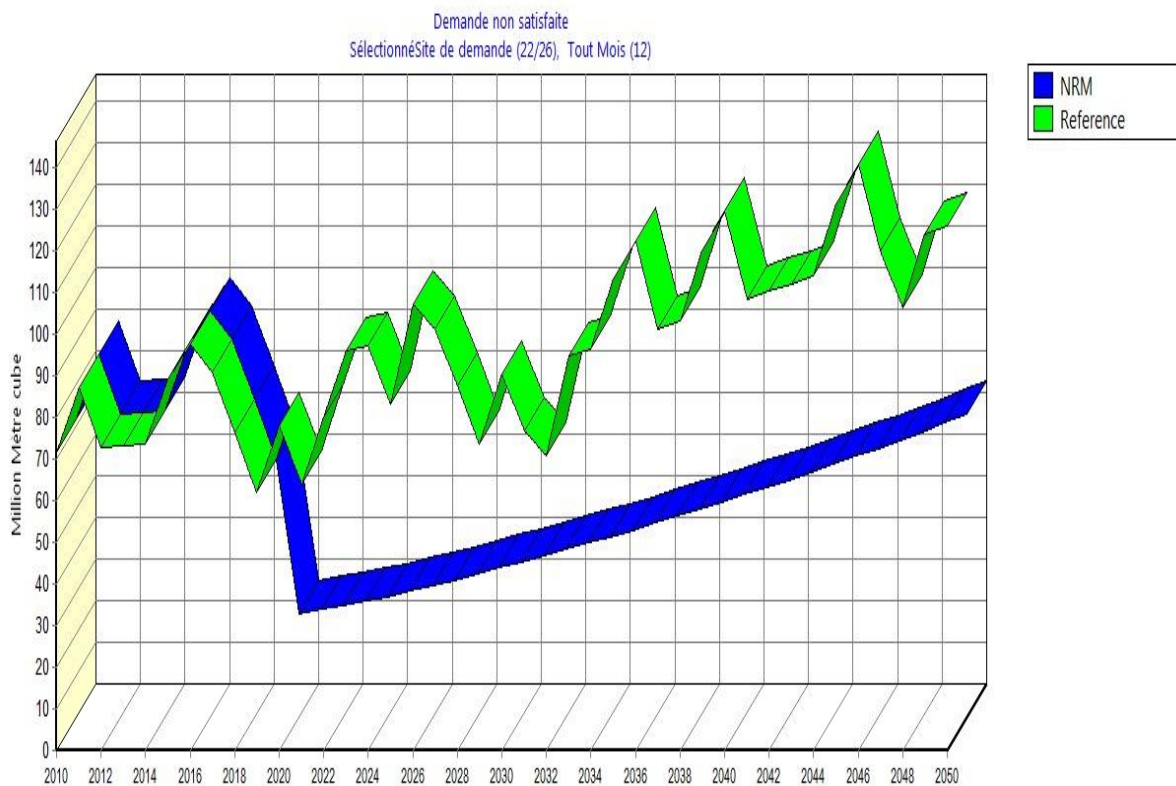


Figure VII.5 : Demande non satisfaite des deux scénarii référence et NRM.

Le résultat de ce scénario montre que la politique de la mobilisation maximale de nouvelles ressources (retenue-barrage) avec une exploitation rationnelle joue un grand rôle à l'abaissement du taux de non satisfaction de la demande et doit donc être prise en compte dès maintenant car l'impact de la projection est suffisamment fiable.

VII.5. Scénario 4 : Nouvelle ressources en eau, station de dessalement d'eau de mer (Dessal)

Le dessalement de l'eau de mer est principalement utilisé par les villes et l'industrie, en Amérique du Nord 16%, en Europe 13% et en Asie 11% et notamment au Moyen-Orient 50% (Greenfactes, 2008). En particulier dans les pays du golfe Arabo-Persique où la demande en eau douce est élevée et les ressources en combustibles facilement disponibles (PNUE, 2001).

Dans le bassin méditerranéen, les demandes en eau douce ne cessent de croître. Le dessalement s'affirme comme étant une des solutions incontournables avec le recyclage des eaux usées. Ainsi, en 2008, la méditerranée représentait environ un quart du dessalement mondial (planbleu.org, 2008). Le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre est une réponse possible pour s'adapter à la raréfaction des ressources en eau.

Afin de faire face à la grave pénurie d'eau et à la suite du programme d'urgence adopté par le gouvernement Algérien en 2003, l'Algérie a opté pour une solution durable de mobilisation de la ressource avec l'Etablissement Public Algérienne des Eaux (EPAE), par la réalisation de 23 stations monobloc (Djellouli, 2006).

L'Algérie compte neuf (09) usines de dessalement en production, deux en cours de construction, ainsi que deux autres en phase de développement, soit treize stations au total. Dans le nord-ouest, le plus touché, le gouvernement algérien a réalisé la plus grande usine de dessalement d'eau de mer du monde. Avec une capacité de 500 000 m³ par jour inaugurée en 2014 pour produire de l'eau potable, elle était prévue pour la wilaya d'Oran. Mais, plus tard, il s'avéra que Oran devint une wilaya autosuffisante, mieux lotie que les autres wilayas voisines, avec tous les projets de dessalement menés dans la région. Maintenant, la station d'El Mactâa est appelée à alimenter ces wilayas : Mascara, Relizane, Tiaret et Mostaganem.

Actuellement, dans le nord-est de l'Algérie, seulement trois stations de dessalement sont fonctionnelles, toutes dans la wilaya de Skikda d'une capacité de 107 000 m³/j, approvisionner à une population d'environ 700 000 habitants.

Dans ce scénario nous intégrerons une nouvelle ressource d'une station de dessalement d'eau de mer d'une capacité de 100 000 m³/j (à noter que la population des deux wilayas Annaba-El Tarf est de 892 253 habitants) soit un volume annuel de 36 Hm³/an, à partir de 2016, les résultats sont présentés dans les figures VII.6 ; VII.7 et VII.8 :

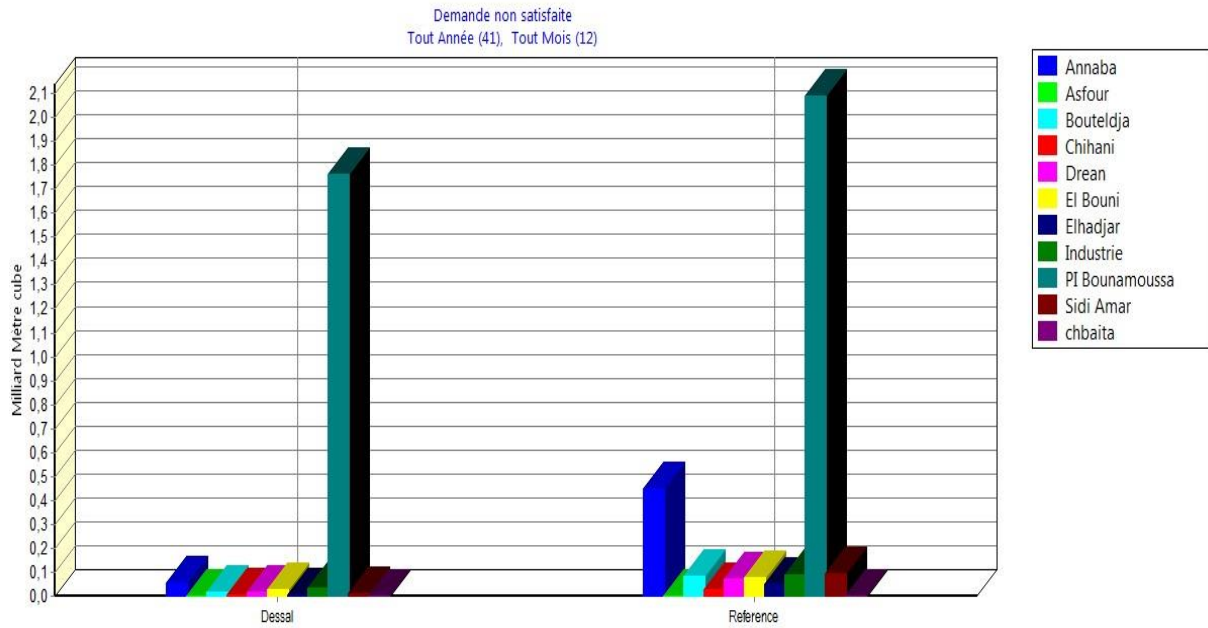


Figure VII.6 : Demande non satisfaite des sites de demande (2010-2050) Scénarii référence et Dessalement.

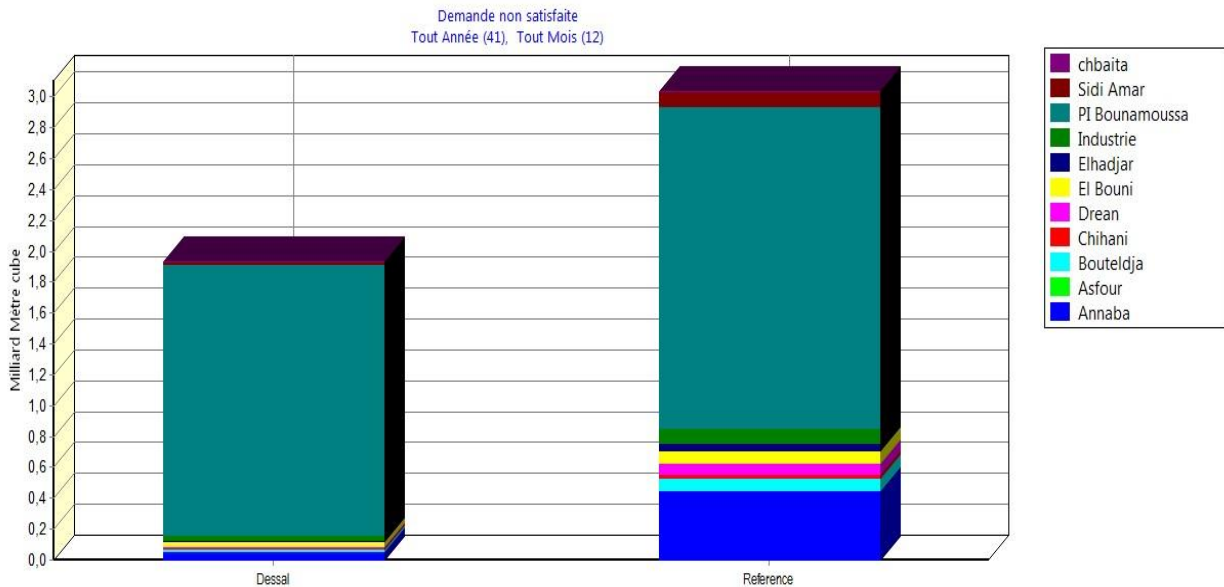


Figure VII.7 : Demande non satisfaite global (2010-2050), référence et dessalement.

Selon l'analyse primaire du système actuel, les communes qui sont mal recouvertes en termes d'approvisionnement en eau potable (Figure VI.4 et VI.15) sont les suivantes : chafia, chbaita, lac des oiseaux, el Taref, Drean, Chihani, Bouteldja, Bougous, Besbes, Berrihane, Ain Assel. Nous avons essayés de renforcer leurs alimentations par la station de dessalement d'eau de mer. Les résultats montrent que l'approche d'intégration de la station de dessalement d'eau de mer a réduit de manière significative le volume de 1 milliard de m³ de la demande non

satisfaite sur la période de 41 ans et améliore les conditions d'approvisionnement des agglomérations déficitaires.

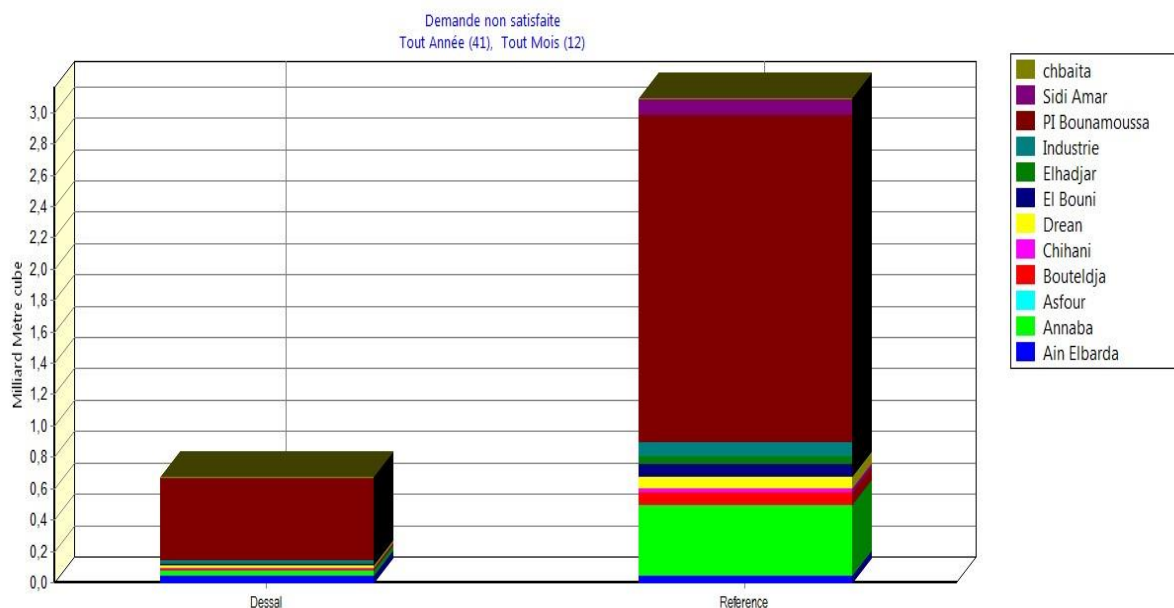


Figure VII.8 : Demande non satisfaite des deux scénarios Dessalement (irrité de scénario NRM) et référence (2010-2050)

La figure VII.8 présente le résultat du scénario de dessalement d'eau de mer qui prend en compte le résultat du scénario «nouvelles ressources en eau (barrage, retenue)» NRM, une réduction importante du non satisfaction des besoins soit de 2,4 Milliards de m³ (dans ce scénario WEAP prend en considération toutes les ressources en eau intégrées dans le système).

Le dessalement de l'eau de mer **apporte une réponse aux besoins d'eau douce**. Cependant, si les techniques de dessalement sont maintenant bien maîtrisées, leur mise en œuvre nécessite de grandes quantités d'énergie, sous forme de chaleur ou d'électricité, coûteuses et sources potentielles d'émissions de gaz à effet de serre (TCN, 2012).

En outre, quel que soit le procédé utilisé de dessalement de l'eau de mer, il n'est pas sans inconvénients :

- Besoins énergétiques importants ;
- Rejet des saumures concentrées (et chaudes dans le cas de la distillation) en mer ou injectées dans le sol ;
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes ;
- Traces de métaux lourds échappés des installations ;
- Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements.

Les traitements de l'eau impliquée par le dessalement altèrent la qualité de l'eau (deminéralisation). Une eau fortement déminéralisée est une eau extrêmement agressive pour le réseau de distribution favorisant la corrosion et donc la mise en suspension ou la dissolution de métaux (TCN, 2012).

VII.6. Conclusion

Au cours des 30 prochaines années, on peut s'attendre à des réductions beaucoup plus importantes de la disponibilité de l'eau et à une augmentation accrue de la demande d'eau d'irrigation dans la région dû au changement climatique et le développement socio-économique. La recherche tente de développer un modèle de gestion intégrée des ressources en eau en proposant des solutions possibles et en choisissant la solution efficace pour résoudre les problèmes et atteindre le résultat souhaité.

le model WEAP élaboré a permis d'analyser ces solutions à travers des scénarios détaillés pour communiquer aux gestionnaires de l'eau les résultats qui confirment que la gestion des ressources en eau dans la région nécessite des améliorations considérables afin de répondre à la disponibilité spatiale et temporelle de l'eau.

Grâce aux résultats des scénarios donnés par le model il a été démontré que la réutilisation de l'eau soit les eaux usées épurées de la station d'épuration de l'Allalik ou bien le recyclage de l'eau de secteur industriel notamment de Sidérurgie El-Hadjar, (stratégie non a appliquée à ce jour dans la zone d'étude), augmente la ressource en eau et offre une flexibilité de l'approvisionnement tout en diminuant la demande globale, qui renvoie la mobilisation des autres ressources en eau pour l'irrigation (le plus grand consommateur d'eau) et économise l'eau potable pour les réserves aux usages domestiques. Il a également été démontré que le soutien du système par de nouvelles ressources en eau telles que la retenue de Koudiat Mahcha, Barrage Bouhaloufa, Bounamoussa et Boulathane qui sont déjà planifiés par l'Etat Algérien aide à soulager le stress hydrique du système actuel. Ainsi que l'intégration du transfert d'eau de mer dessalée dans la gestion des ressources en eau actuel de la zone d'étude renforce l'approvisionnement en eau potable et réduit considérablement le taux de la demande non satisfaite et le déficit hydrique à long terme.

CONCLUSION GENERALE

La diversité des usages de l'eau nécessite la mobilisation de volumes d'eau de plus en plus importants, ce qui ne correspond pas aux capacités actuelles évaluées, et demande une planification minutieuse à moyen et long terme pour réduire ce déficit.

Le but de notre recherche est de savoir comment établir des relations de prédiction, à utiliser comme outils d'aide à la décision. L'impact global est d'assurer une sécurité future en matière de mobilisation d'eau et faire face à la rareté de la ressource devant l'insuffisance des ressources.

Notre zone d'étude est située à l'extrême Nord Est Algérien, elle est drainée par trois oueds : la Seybouse (Annaba), la Bounamoussa et le Kébir-Est (El Tarf), rejoignant la mer par un seul exutoire, l'Oued Mafragh.

Du point de vue géologique, la région possède des formations géologiques antérieures à la mise en place des nappes (le Numidien, Tellien) et des formations post-nappes (les formations récentes). Ces formations sont d'âge tertiaire et quaternaire. Le tertiaire est composé des formations grés-argileuses du Numidien, tandis que le quaternaire est représenté comme un remplissage des bas-fonds de la dépression tectonique de Annaba-El-Kala. Ce remplissage constitue l'essentiel du réservoir aquifère de la plaine d'Annaba-La Mafragh.

L'analyse des données climatiques des six stations météorologiques (Ain Assel, Boutheldja, Chaffia Barrage, Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda), nous a permis d'attribuer à la région d'étude un climat méditerranéen à deux saisons ; l'une froide et humide s'étend de la fin du mois de septembre jusqu'au mois de mai, et l'autre chaude et sèche occupe le reste des mois. La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de : 651 mm (Les Salines), 614,5 mm (Pont Bouchet), 826 mm (Boutheldja), et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,14 °C enregistrée à la station Les Salines et 17,61 °C enregistrée à la station El kala. La reconstitution du stock commence en mois de novembre et s'achève en mois d'avril. L'épuisement des stocks de sol a été observé en mai, ce qui entraîne un déficit agricole nécessitant une irrigation, en particulier pour la période de juin à octobre.

L'étude hydrologique nous a permis de donner un aperçu sur la relation des débits en fonction des précipitations, qui révèle les faibles débits enregistrés correspondant à la saison sèche où domine l'évapo-transpiration et où les précipitations utiles sont négatives, et ceux forts à la saison pluvieuse où les précipitations dépassent l'évapo-transpiration avec un écoulement important dès que le sol est imbibé ($RU = 100$ mm), pour donner un régime moyen des oueds comprend une période de hautes eaux de Décembre à Mars et une période de basses eaux d'Avril à Novembre.

D'un point de vue hydrogéologique, la zone d'étude possède un important réservoir d'eau souterraine principalement contenu dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable, avec parfois des intercalations argileuses).

Les ressources en eau abondantes dans la zone d'étude sont principalement constituées par l'écoulement des oueds (657,92 Hm³/an), qui sont le produit direct des précipitations. Les ressources en eau de surface ne sont que légèrement utilisées, leur volume mobilisable étant de 497,9 Hm³ par an, mais une quantité assez limitée est stockée dans les deux barrages de Cheffia (95 Hm³), Mexa (33 Hm³), Et le reste du volume coule simplement vers la mer.

Les eaux souterraines, sont parfaitement exploitées (94,1 Hm³ sur 97,5 Hm³) soit 96.51 % des réserves renouvelables du bassin de la Mafragh, malgré qu'elles soient peu importantes par rapport à la ressource superficielle. Ce volume est extrait à partir de la nappe du massif dunaire de Boutheldja ainsi que de la nappe profonde des graviers de la plaine d'Annaba.

Toutes ces ressources, superficielles et souterraines, constituent la source principale d'approvisionnement de l'inter-région d'Annaba-El Tarf, Dont les besoins ne cessent de croître.

Le problème de cette région, très riche en eau, se pose beaucoup plus en termes de mobilisation et une meilleure gestion de son utilisation de la ressource qu'en termes de disponibilité. Une planification réussie nécessite des modèles efficaces de gestion des ressources en eau (GIRE) qui peuvent résoudre des problèmes complexes, Comme outil d'analyse des politiques, WEAP évalue une gamme complète d'options de développement et de gestion de l'eau, et considère multiples usages compétitifs des systèmes d'eau. Le modèle va simuler le fonctionnement du système de l'eau dans la zone d'étude d'Oued Seybouse et le bassin de côtier constantinois Est El-Tarf, et donne des résultats de simulation beaucoup plus descriptifs et plus simples à interpréter.

Une étude déjà réalisée par le modèle WEAP a été appliquée à sa fonction de base et limitée à une analyse initiale dans le bassin d'Oued Seybouse, il a été proposé de bien choisir les outils de gestion comme le traitement des eaux usées, le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre, la réadaptation des réseaux d'eau potable et d'eaux résiduaires... Dans notre modèle, nous avons commencé notre analyse premièrement par la même zone étudiée suivie par une analyse approfondie du sous-système de l'inter-région Annaba - El-Tarf le Nord-est de l'Algérie. Pour éveiller les gestionnaires, et accroître la compréhension des moyens et des mesures nous avons élaboré plusieurs scénarii qui reflètent des conditions meilleures et pires de l'offre et de la demande pour la mise en valeur durable des ressources en eau et aider à soulager le stress de pénurie d'eau, dans le but d'atteindre la durabilité économique et écologique.

Les résultats montrent que dans les 30 prochaines années, une grande réduction sur la disponibilité de l'eau et à une augmentation accrue de la demande d'eau d'irrigation dans la région due au changement climatique et au développement socio-économique. Nous avons élaborés des scénarii qui mise au système des nouvelles politiques de gestion plus rationnelles et une exploitation plus efficace de la ressource eau, afin d'assurer une meilleur protection de cet hydro-système aménagé.

Le résultat de ces scénarios montre que la situation s'améliorera avec la réutilisation des eaux usées, le recyclage de l'eau industrielle renvoie le besoin de mobilisation d'autres ressources en eau pour l'irrigation (le plus grand consommateur d'eau) et économise l'eau potable pour les réserves aux usages domestiques. L'intégration des différents barrages et retenues (Bouhaloufa, Boulathane, Bounamoussa, Koudiat Mahcha, Bouhdid) qui sont déjà planifiés par l'Etat, permettront d'emmagasiner un volume important qui servira à l'atténuation du taux de la demande non satisfaite et les déficits hydriques à long terme. La réalisation d'une station de dessalement renforce les besoins en eau potable et soulage la surexploitation des nappes ce qui a conduit à la dégradation de la qualité de l'eau, surtout dans la nappe alluviale de la Seybouse où la salinité atteint 1.7 g/l.

Le présent travail, a donné plus de détails sur le système hydrique de l'inter-région Annaba-El Tarf et sur la satisfaction des agglomérations. Nous avons testé plusieurs stratégies de gestion de l'eau pour communiquer aux gestionnaires de l'eau les résultats, et ouvrir des perspectives de recherche très intéressantes pour détailler chaque sous-système (eau domestique, industrie, irrigation) et étudier ce problème sous tous ses aspects tels que le développement des systèmes d'irrigation, développement de niveau de vie, la qualité de l'eau et son impact sur la gestion de l'eau en Algérie. Afin de déterminer d'une façon plus incontestable les interactions entre ces sous-systèmes pour une éventuelle gestion en ressources en eau.

Recommandations

Ce projet se veut être une contribution dans l'investigation, la compréhension et l'estimation des ressources en eau d'une part et d'autre part un outil d'aide dans la gestion des ouvrages hydrauliques, les résultats des scénarii qui proposent l'intégration des nouvelles politiques au système sont des recommandations en elles-mêmes qui s'appuient sur le fait de :

- Prendre en considération les stratégies de l'eau qui favorisent la mobilisation des eaux de surface (barrages et retenues, station d'eau de mer) avec une exploitation rationnelle des eaux souterraines.
- Limiter le gaspillage par l'introduction de nouvelles techniques d'irrigations (irrigation par le système goutte à goutte) et l'emploi des eaux usées épurées afin d'augmenter la productivité de l'eau dans l'agriculture.

Il est recommandé aussi

- De réorganiser et réhabiliter les réseaux de distribution après leurs vieillissements.
- De Contrôler les pertes les plus élevées en raison du manque d'entretien régulier des installations et des réseaux.

Enfin, notre ambition est l'Algérie, puisque tous les pays du monde peuvent envisager une politique qui vise -à-agir par la mise en œuvre d'un programme ou plan d'action dont les objectifs sont conformes aux trois recommandations constituant une synthèse du consensus atteint lors des récentes conférences internationales :

- Gérer l'eau pour tous les hommes et leurs descendants, en préservant l'environnement avec une politique de développement durable (Rio, 1992).
- Associer étroitement les usagers aux choix d'aménagement (Dublin, 1992).
- Considérer l'eau comme un bien économique et social et prévoir son accès pour tous (Dublin 1992 ; Paris, 1998)

Références bibliographiques

- Affoun, S. (1993). Contribution à l'aménagement hydro-agricole de la plaine de Kherraza. Mémoire d'ingénieur, Université de Badji Mokhtar, Annaba.
- Affoun, S. (2006). Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la Mafragh. Thèse de Magister. Université de Mentouri, Constantine.
- Aoun sebaïti, B. (2010). Gestion optimisée des ressources en eau d'une nappe cotière, Application à la plaine Annaba (Nord-est Algérie). Thèse de Doctorat. Université de Lille.
- Aoun sebaïti, B., Hani, A., Djabri, L., Chaffai, H., Aichouri. I. et Boughrira, N. (2013) Simulation of water supply and water demand in the valley of Seybouse (East Algeria) Desalination and Water Treatment, 52:10-12, 2114-2119, DOI: 10.1080/19443994.2013.855662.
- Arrus, R., Rousset, N. (2007). L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques? Communication à WATMED 3,3 conférence internationale sur les e Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, Tripoli (Liban), 1 -3
- Attoui, B., Kherci, N., Bousnoubra, H. (2012). State of vulnerability to pollution of the big reservoirs of ground water in the region of Annaba-Bouteldja (NE Algeria) , Geographia Technica, No. 2, 2012, pp. 1 to 13
- Auger, P., Baudrand, J. (2004). Gestion intégrée de l'eau par bassin versant au Québec: Cadre de référence pour les organismes de bassin versant prioritaires» suivi de la politique de l'eau et bassin versant, Environnement Québec.
- Banton, O., et Bangoy, L. M. (1997). Hydrogéologie, Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada.
- Bibeault J.F. (1 999). Limites à la gestion intégrée de l'eau au Québec : tension entre l'intégration et la fragmentation du territoire, Thèse de Doctorat. Université de Montréal, Canada .
- Belhamra, A., (2001). Contrôle de la salinité des eaux du lac Fetzara jusqu'à la mer. Mémoire de Magister. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Bendjama, A., Chouchane, T., Boukari, O., Morakchi. K., Meradi, H. (2010). Caractérisation d'une pollution organique et inorganique des eaux superficielles oued Meboudja situé au Nord Est de l'Algérie, Conférence Internationale sur le Soudage, le CND et l'Industrie des Métaux, IC-WNDT-MI'10, Oran.

- BG, Ingénieur Conseils, DRE, (2011). Etude de réutilisation des eaux usées épurées et des boues stabilisées de la STEP d'Annaba, Mission 3, Direction des ressources en eau.
- Bolin, B. (1980). Climate change and their effects on the biosphere. Genève, OMM.
- Benoune, A., Laouar, L., Ramoul, H. (1986). Essai d'aménagement d'une commune sublittorale (cas d'El Hadjar). Mémoire d'ingénieur. Université de Mentouri. Constantine.
- Browner, C.M. (1996). « Watershed Approach Framework ». Watershed Management. U.S. Environmental Protection Agency, Office of water (4501F), EPA 840-S-96-001.
- Burton, J. (2001). La gestion intégrée des ressources en eau par bassin. Manuel de formation. Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie. IEPF.
- Calianno, M., Reynard, E., Milano, M., et Buchs, A. (2017). Quantifier les usages de l'eau : une clarification terminologique et conceptuelle pour lever les confusions, Vertigo (la revue électronique en sciences de l'environnement Vol.17 n°1.
- CAEN, (2000). VIèmes journées nationales, Génie Civil- Génie côtier, 17-18-19 Mai 2000, France
- Chaffai, H., Djabri, L., Lamrous, S. (2005). Réserves hydrique de la wilaya d'Annaba, Inventaire et besoins future en ressources en eau. Larhyss journal. 4(2005) 31-36.
- Chouchane, S., Hani, A., Djabri, L., Saaidia, B., Aoun sebaïti, B., Aichouri, I., et Lallahem, S. (2014). A new conceptual water integrated model for the Seybouse basin, Annaba region. Desalination and Water Treatment. Vol 52 2102–2113. DOI: 10.1080/19443994.2013.848331.
- Charnay, B. (2010). Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne. Le cas du bassin versant du Giffre (Haute-Savoie). Thèse de Doctorat de Géographie. Université de Savoie.
- Cochonneau, G. (1980). Hydrom, présentation. Série hydrologie, vol xvll, pp3-4.
- Collet, L. D., Ruelland, V., Borrell-Estupina, A., Dezetter, et E. Servat. (2015), Water supply sustainability and adaptation strategies under anthropogenic and climatic changes of a mesoscale Mediterranean catchment. Science of the Total Environment. Vol 536. pp. 589-602.
- Committee on Watershed Management, (1999). New Strategies for America's Watersheds. National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.
- Davenport, T. E. (2003). The Watershed Project Management Guide, Lewis Publishers, Washington, D.C., 271 p.

- Derradji, F. (2004). Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région d'Annaba-El Tarf (Nord Est de l'Algérie), Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Derradji, F., Kherici, N., Romeo, M., et Caruba, R. (2004). Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). *Sécheresse* N° 4, Vol. 15, pp 353-360.
- Djabri, L., Hani, A., Laouar, R., Mania, J., Mudry, J., et Louhi, A. (2003). Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, North-Eastern Algeria. *Environmental Geology* 44: 738. Doi :10.1007/s00254-003-0824-z
- Djabri, L., Ghrieb, L., Guezgouz, N., Hani, A., et Bouhsina, S. (2013). Impacts of morphological factors on the marine intrusion in Annaba region (east of Algeria) *Journal of Desalination and Water Treatment*. Volume 52, 2014 - Issue 10-12
- Djellouli, Y. (2006). Ressources en eau des zones arides et semi-arides au Maghreb. Journée d'étude sur les ressources en eau et le climat méditerranées, université de Maine -France, 9, pp5-7.
- Djorfi, S. (2012). Analyse, approche de gestion et de réhabilitation des sites pollués de la région d'Annaba, Nord-est algérien. Thèse de Magister. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Debieche, T.H. (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous L'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat. Université de Franche-Comté.
- Dublin, (1992), Conférence internationale sur l'eau et l'environnement, Dublin, 1992, Déclaration de Dublin sur l'eau dans la perspective d'un développement durable, Dublin. http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_fr.shtml
- Dupont, J., Smitz, J., Rousseau, A., Mailho, A., Gangbazo, G. (1998). Use of digital decision support tools for water management. *Revue des sciences de l'eau*. 5(18), pp8-9.
- Durand-delga, M. (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. *Publ. Serv. Géol. Algérie*, n°39, 89-131.
- Fellah, R. (1998). Bilan et perspectives de gestion des eaux ressources en eau dans le bassin versant de la Mafragh (Extrême Nord Algérien). Mémoire d'ingénieur en Hydrogéologie. Faculté des Sciences de la terre. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Fuhrer, J., Jasper, K. (2012). Demand and supply of water for agriculture: influence of topography and climate in pre-alpine, mesoscale catchments. *Natural Resources*. vol. 3. pp. 145-155.

- Joleaud, L. (1936). Etude géologique de la région de Bône et de la Calle, Ed Imp. La Typo- et Jules Carbonnel Réunies.
- Habes, S. (2006). Pollution saline d'un lac, cas du lac Fetzara, Est Algérien. Mémoire de Magister, option : Hydrogéologie. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Haied, N. (2008). Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja (NE Algérien). Thèse de Magister. Université de Badji Mokhtar Annaba.
- Hamlat, A., Errih, M., Guidoum, A. (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. Arab J Geosci. Arab J Geosci 6:2225–2236 DOI 10.1007/s12517-012-0539-0
- Hani, A. (2003). Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : Application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de Doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Hani, A., Djorfi, S., Djabri, L., Lamouroux, C., Lallahem, S. (2007). Impact of industrial rejections on water of Annaba aquifer (Algeria). Journal of European Water 19/20 : 3-14.
- Hannachi, A., Gharzouli, R., Djellouli, T. Y. (2014). Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, pp. 51-62
- Harrison, N. (2000), Constructing Sustainable Development. New York, State University of New York Press.
- Hazourli, S., Boudiba, L., Ziati, M. (2007). Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-Hadjar, Journal Larhyss, N° 6, pp. 45-55.
- Hill, M., Banta, E., Harbaugh, A., Anderman, E. (2000). A computer program MODFLOW for estimating parameters of a transient, three- dimensional, ground-water flow model using nonlinear regression. US. Geological survey open-file report, 91(984), pp358.
- Hilly, J. (1962). Etude géologique des massifs de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois). P.S.C.G., Bulletin N°19, Alger, 408p.
- Gangbazo, G. (2004). Gestion intégrée de l'eau par bassin versant II : Concepts et application. Environnement Québec.
- Gariépy, S. (2001). La gestion par bassin versant : philosophie et principes, dans Actes du forum Fleuve et agriculture – Harmoniser environnement et développement, Québec, Le Comité ZIP de Québec et Chaudières-Appalaches, p. 91-103.
- Gausson, H. (1957). Climatologie. In: Annales de Géographie. t. 66, n°353. pp. 9-14. doi: 10.3406/geo.1957.18482. Université - st- Etienne. France.

- Gleick, P. (2007). Time to Rethink Large International Water Meetings. The World's Water. The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press.
- Greenfacts, (2008). Détails sur les ressources en eau. Consensus Scientifique sur les ressources en eau, pp6-8.
- GWP, UNDP et Cap-Net, 2005 (Partenariat mondial de l'eau), UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME et Cap-Net « PLANS DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU » Manuel de Formation et Guide Opérationnel dans le cadre de l'Initiative Canadienne, « Programme pour le Développement de l'Eau en Afrique » 107p.
- Global Water Partnership, 2009 Partenariat mondial de l'eau et le Réseau international des organismes de bassin (RIOB), 2009 : Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin, 112 p
- KADI, A. (1997), La gestion de l'eau en Algérie. Hydrological Sciences, Journal-des Sciences Hydrologiques, 42 (2): 191-197.
- Khadri, S. (2009). Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution. Thèse de Magister. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Kherici, N. (1993). Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafraghe) Nord-Est Algérien. These de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Labar, S. (2003). Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physico-chimique des eaux stagnantes temporaires dans la vallée de la Mafraghe (Extrême NordEst Algérien), Mémoire de magistère. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Lam, C., Swayne, D. (1996). A hybrid expert system and neural network approach to environmental modeling: GIS applications in the Raison system. Proceeding of the hydroGIS'96 conference, 235(45), pp685-694.
- Lamrous, S. (2001). Inventaire des points d'eau de la wilaya d'Annaba, essai de synthèse et identification des ressources en eaux. Mémoire d'ingénieur. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Lasserre, F. et Descroix, L. (2005). Eaux et territoires, coopérations et géopolitique de l'eau, 2^{ème} édition, Presse de l'université de Québec.
- Lellahem, S. (2013). Gestion intégrée des ressources en eau. HDR. Université De Lille. France.
- Levert, F., et BOISVERT, M. (1985). Gérer l'eau, une responsabilité d'aménagement du territoire, Sciences et techniques de l'eau, , vol. 18, no 4, pp. 350-357.

- Liu, Y. (1995). A pattern directed approach toward an object adaptive decision support system environment for water resource management. Delft university press, stevinweg, 1(1), Netherlands, pp201.
- Marre, A. (1987). Le Tell Oriental Algérien de Collo à la Frontière Tunisienne. Etude Géomorphologique, Volume 1, Office Des Publications Universitaires.
- Marre, A. (1992). Le Tell oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique. Vol. 1 & 2, Office des Publications Universitaires. Alger, Algérie.
- Mebarki, A. (2005), Hydrologie des bassins de l'Est Algérien, Ressources en eau, aménagement Et environnement. Thèse de Doctorat. Université de Mentouri Constantine.
- Mebarki, A. (2009). Ressources en eau et aménagement en Algérie (Les bassins hydrographique de l'est), Office des publications universitaires, Alger, 389p.
- Milano. M, Ruelland, D., Fernandez, S., Dezetter, A., et Fabre, J. (2012). Facing climatic and anthropogenic changes in the Mediterranean basin : what will be the medium-term impact on water stress ?. Comptes Rendus Geoscience, vol. 344, pp. 432-440.
- MRE, (2012). Ministère des Ressources en Eau, Algérie,
- Nichane, M., et Khelil, M. A. (2015). Changements climatiques et ressources en eau en Algérie: vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. Algerian journal of arid environment. vol. 5, n° 1. 56-62.
- Nicolas, L. M. (2008). Le bassin versant de surface vu par le souterrain : une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit ? Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie.
- Nouacer, R. (1993). Essaie de synthèse des caractéristiques hydrologiques et hydrochimiques de la nappe du massif dunaire de Boutheldja. Thèse de Magister. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- O'riordan, J. (1983). New Strategies for Water Resource Planning in British Columbia, River Basin Management: Canadian Experiences, , University of Waterloo, Canada, p.17-42.
- Orlob, G. (1992). Water-quality modeling for decision making. Water resources plan management, 118(3), pp295-307.
- OTV, (2012), Rapport d'exploitation de la station d'épuration d'Annaba, direction des ressources en eau d'Annaba.
- Ouled zaoui, S., Snani, S., Djebbar Y. (2010). Management of water resources at Souk-Ahras region (Alegria). Fourteenth International Water Technology Conference, IWTC 14 2010, Cairo, Egypt.

- Paris, (1998), Conférence internationale de Paris, eau et développement durable, 1998, Recommandations du RIOB - La participation des usagers à la gestion et au financement des organismes de bassin, Paris, 19-21 mars. <http://www.waternunc.com/fr/eaudd34.htm>
- Partenariat mondial pour l'eau & Comité technique consultatif, (2000). La gestion intégrée des ressources en eau, TAC Background papers no. 4.
- Partenariat mondial de l'eau, Réseau international des organismes de bassin office international de l'eau, (2009) : Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin.
- Parry, M. L. (1991). The potentiel soci-economic effects of climate change. Nairobi, UNEP: 1-25
- Peguy, CH. P. (1970), Précis de climatologie. Masson et Cie, Paris, 468 p. (2^em, édit.).
- Planbleu.org, (2008). Plan bleu - Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée - 2008
- PNE, (2010). Réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau Programme MEDA de l'Union Européenne, Europe Aid/126155/D/SER/DZ
- PNUE, (2001). Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens : Evaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure. Plan d'action pour la méditerranée, 20-31.
- PNUD Algérie, (2009), Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie,
- Rakotondrabe, F. (2006). Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Moronda (Sud-ouest de Madagascar). Thèse de magistère. université d'Antananarivo, pp45.
- Ramdani, R. (1996). Etude hydrologique et simulation par modèle mathématique de la nappe dunaire de la région de Boutheldja, Thèse de Magister, Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- Raoult, J.F. (1974). Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mémoires de la Société Géologique de France, n°121, p. 1-163.
- Remini, B. (2010). La problématique de l'eau en Algérie du nord. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680, n° 08, pp. 27-46.
- Rio, (1992). La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Réunie à Rio de Janeiro du 3 au 14 juin 1992.
- Roche, M. (1963) - Hydrologie de surface. Gauthier-Villars Editeur-Paris, 429 p

- Sadoune, A. (2012). Vulnérabilité, et évaluation des ressources en eau dans l'extrême Nord-Est Algérien. Thèse de Magister. Université De Badji Mokhtar. Annaba.
- SEI, (2005). WEAP user's guide. Stockholm Environment Institute, Boston
- SEI, (2007). WEAP: user guide for WEAP21. Stockholm Environment Institute, Boston
- SEI, (2008). WEAP: système d'évaluation et de planification des ressources en eau, tutorial: une collection de modules autonomes pour aider à apprendre le logiciel WEAP. Tellus Institute Boston
- Sonatrach, (1966). Esquisse structurale de la plaine de Annaba. Rapport A.N.R.H., inédit. Annaba, Algérie.
- STROJEXPORT, (1975). Prospection géophysique de la plaine de Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, 30 p.
- TABET, A. M. (2000). Changement climatique et risques. SOMIGRAF: 1-10.
- TCN, (2012). Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie. DOSSIER MEDIATHEQUE ARCHI'MEDIA
- Thorntwaite, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review 38, pp 55-94.
- Tóth, J. A. (1963), A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. Journal of Geophysical Research. 68, 4795–4812.
- UNESCO, (2003). L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie, Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau, UNESCO/Division des sciences de l'eau, Paris, France.
- United Nations development programme, (1998). Capacity Assessment and Development, Technical Advisory Paper No. 3. [En ligne], [http://magnet.undp.org/Docs/cap/captech3.htm].
- USEPA, (1995), United states environmental protection agency. Watershed Protection: A Project Focus, EPA 841-841-R-95-004. [En ligne], [http://www.epa.gov/owow/watershed/focus/].
- Vila, J.M. (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens, Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie - Curie, Paris VI.
- Villeneuve, J., Hubert, P., Mailhot, A., Rouseau, A. (1998). La modélisation hydrologique en sciences de l'eau. Revue scientifique en eau, n°11, pp 19-39.

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., Huberlee, A., (2005). WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 1, Model Characteristics. International Water Resources Association, Water International, Vol. 30, No. 4, pp. 487–500.

Zahi, F. (2014). Contribution à l'étude hydrochimique du sous bassin versant du lac Fetzara (Nord-est Algérien). Approche géochimique et fonctionnement des sols et des eaux. Thèse de Doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.

Ziemer, R.R. (1997). « Temporal and Spatial Scales », dans Williams, J.E., C.A. Wood et M.P. Dombeck. Watershed Restoration: Principles and Practices, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, p. 80-95.

Site WEB

(<http://www.elmoudjahid.com/fr/mobile/detail-article/id/7141>).

(<http://www.elmoudjahid.com/fr/mobile/detail-article/id/7141>).

(<https://www.djazairress.com/fr/apsfr/413603>)

(<https://blogs.mediapart.fr/edition/1-eau-dans-le-monde/article/021009/quelques-precisions-sur-le-dessalement-de-l-eau-de-m>)

<https://wikiwater.fr/e56-l-irrigation-par-recyclage-d>