

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques dans la plaine de la Mitidja (Modélisatin par le logiciel WEAP 21) .

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 8-0001-19

APA Citation (توثيق APA):

Moussaoui, Malika. (2019). Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques dans la plaine de la Mitidja (Modélisatin par le logiciel WEAP 21) [Thèse de doctorat, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the

Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، بيداغوجية، مقالات البوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



ENSH-(n° d'ordre)

**THESE DE DOCTORAT EN SCIENCE
DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE**

Présentée par

Madame MOUSSAOUI Malika Epouse KAHLERRAS

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE

Sujet de la thèse :

**Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux
changements climatiques dans la plaine de la Mitidja
(Modélisation par le logiciel WEAP 21)**

Thèse présentée et soutenue à Blida le 07/02/2019 devant le jury composé de :

M^r. SALAH B.

M^r.MEDDI M.

M^r. BOUTOUTAOU D.

M^r. HAOUCHINE A.

M^r. AMMARI A.

Professeur ENSH

Professeur ENSH

Professeur Univ.Ouargla

Professeur USTHB

MCA ENSH

Président

Directeur de thèse

Examineur

Examineur

Examineur

RESUME

Le processus de sécurisation de l'approvisionnement des besoins en eau représente l'un des plus grands problèmes dans le monde.

L'Algérie est un des pays du Sud du bassin méditerranéen qui souffre de la pénurie d'eau. Les écoulements en eau y sont caractérisés par une irrégularité saisonnière et interannuelle importante et par une violence et une rapidité des crues. En effet, la connaissance des conditions climatiques joue un rôle important dans les études de planification économique; elle permet de mieux maîtriser les apports non contrôlés qui engendrent le bon fonctionnement du système de prévision et de gestion des ressources hydriques à court, moyen et long termes.

La Mitidja est l'une des plaines les plus fertiles de l'Algérie. Elle constitue le principal réservoir d'eau souterraine couvrant les différents besoins en eau de nombreuses localités de la capitale et de plusieurs villes des quatre wilayas situées en grandes parties dans la plaine (Alger, Blida, Boumerdès, et Tipaza). Elles assurent aussi l'irrigation des dizaines de milliers d'hectares de terres agricoles. Le bassin versant du Mazafran qui fait partie de la plaine possède encore une potentialité notable en ressources en eau exploitable aussi bien souterraine que de surface.

Face à la demande en eau sans cesse croissante pour les différents utilisateurs, les organismes gestionnaires des ressources en eau font face à de nombreux défis, dont certaines peuvent constituer un obstacle pour atteindre la durabilité et de garantir l'eau requise pour les divers secteurs de l'approvisionnement. Pour faire face à ce dilemme, la gestion intégrée des ressources en eau constitue une meilleure approche.

La présente étude a permis de modéliser la gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant du Mazafran par le système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP). Ce dernier a été développé par le SEI (Stockholm Environment Institute) pour simuler le bilan hydrique actuel et évaluer les stratégies de gestion des ressources en eau selon deux scénarios liés aux changements climatiques (optimiste RC4.5 et pessimiste RC8.5) à l'horizon 2050. Le modèle a été calé pour la période (1998-2007) et validé pour la période (2008-2014). Les deux scénarios construits pour cette approche reflètent l'effet des tendances futures de la demande en eau en tenant compte des différentes politiques d'exploitation et les facteurs qui peuvent influencer la demande et d'évaluer l'impact de la disponibilité des ressources en eau par le changement climatique probable dans la région d'étude.

Les simulations du modèle WEAP montrent que la demande en eau totale de la région peut être satisfaite jusqu'à l'an 2041 et à partir de 2045, le manque d'eau atteindra un maximum à l'horizon 2050 avec un volume de 95,3 Mm³ pour le scénario optimiste (RC4.5). Cette situation sera plus grave pour le scénario pessimiste (RC8.5) où le manque d'eau se déclenchera plutôt à savoir en 2025 et le déficit sera de l'ordre 130.95 Mm³ en 2050.

Mots clés:

gestion des ressources hydriques, plaine Mitidja, changements climatiques, modèle WEAP, bassin versant Mazafran, Algérie

ABSTRACT

The process of securing the supply of water needs is one of the biggest problems in the world. Algeria is one of the southern Mediterranean countries that suffer from water scarcity. The water flows are characterized by a significant seasonal and interannual irregularity and by violent and rapid floods. Indeed, knowledge of climatic conditions plays an important role in economic planning studies; it makes it possible to better control the uncontrolled inputs that lead to the proper functioning of the water resources forecasting and management system in the short, medium and long term. Mitidja is one of the most fertile plains of Algeria. It is the main reservoir of underground water covering the different water needs of many localities in the capital and several cities of four wilayas located in large parts of the plain (Algiers, Blida, Boumerdes, and Tipaza). They also irrigate tens of thousands of hectares of farmland. The Mazafran which is part of the plain watershed still has significant potential for exploitable water resources, both underground and surface.

Faced with the ever increasing water demand for the different users, water resource management organizations face many challenges, some of which may be a barrier to achieving sustainability and ensuring the water required for various supply sectors. To address this dilemma, integrated water resource management is a better approach. This study has modeled the integrated management of water resources in the Mazafran watershed by the Water Assessment and Planning System (WEAP). The latter was developed by the SEI (Stockholm Environment Institute) to simulate the current water balance and evaluate water resources management strategies according to two climate change scenarios (optimistic RC4.5 and pessimistic RC8.5) by 2050. The model was calibrated for the period (1998-2007) and validated for the period (2008-2014). The two scenarios constructed for this approach reflect the effect of future trends in water demand taking into account the different operating policies and the factors that can influence the demand and assess the impact of water availability by likely climate change in the study area.

The WEAP model simulations show that the total water demand of the region can be satisfied up to the year 2041 and from 2045, the water shortage will reach a maximum by 2050 with a volume of 95.3 Mm³ for the optimistic scenario (RC4.5). This situation will be more serious for the pessimistic scenario (RC8.5) where the lack of water will trigger rather to know in 2025 and the deficit will be around 130.95 Mm³ in 2050.

Keywords:

Water resources management, plane Mitidja, climate change, WEAP model, Mazafran watershed, North of Algeria .

ملخص

تعد عملية تأمين التزويد بالمياه من أكبر المشاكل بالعالم. تعتبر الجزائر إحدى دول جنوب البحر الأبيض المتوسط التي تعاني من ندرة المياه. تتميز تدفقات المياه بتذبذبات موسمية وسنوية كبيرة إلى جانب غزارة وسرعة الفيضانات. في الواقع ، تلعب معرفة الظروف المناخية دوراً هاماً في دراسات التخطيط الاقتصادي ، حيث تسمح بالتحكم وبشكل أفضل في كمية المياه غير الخاضعة للسيطرة التي تؤدي إلى الأداء السليم لنظام التنبؤ وإدارة الموارد المائية على المدى القصير ، والمتوسط والطويل.

نتيجة هي واحدة من أكثر السهول خصوبة في الجزائر. تعتبر الخزان الرئيسي للمياه الجوفية التي تغطي الاحتياجات المائية المختلفة للعديد من المناطق بالعاصمة والعديد من المدن بأربع ولايات التي تمثل جزء كبير من السهل (الجزائر ، البليدة ، بومرداس ، تيبازة). كما أنها تضمن ري عشرات الآلاف من الهكتارات من الأراضي الزراعية. يملك حوض مزابان الذي يقع في هذا السهل إمكانات كبيرة لموارد المياه القابلة للاستغلال ، سواء الجوفية أو السطحية.

في مواجهة الطلب المتزايد باستمرار على المياه لمختلف المستخدمين ، تواجه منظمات إدارة الموارد المائية العديد من التحديات ، وبعضها يمكن أن يشكل عقبة أمام تحقيق الاستدامة وضمان المياه اللازمة لمختلف القطاعات التزويد. ولمعالجة هذه المعضلة ، تعد الإدارة المتكاملة للموارد المائية نهجا أفضل. وقد صممت هذه الدراسة الإدارة المتكاملة للموارد المائية بحوض مزابان بواسطة نظام تقييم وتخطيط المياه (WEAP). تم تطوير هذا الأخير من قبل معهد ستوكهولم للبيئة (SEI) بالسويد لمحاكاة التوازن الحالي للمياه وتقييم استراتيجيات إدارة موارد المياه في إطار سيناريوهين متعلقين بالتغيرات المناخية (متفائل RC 4.5 ومتشائم RC 8.5) بأفق 2050.

تمت معايرة النموذج للفترة (1998-2007) وتم التحقق من صلاحيتها للفترة (2008-2014) ويعكس السيناريو هان المصممان لهذا النهج تأثير الاتجاهات المستقبلية في الطلب على المياه مع مراعاة توجهات الاستغلال والعوامل التي يمكن أن تؤثر على الطلب وتقييم أثر توافر المياه من خلال تغير المناخ المحتمل في منطقة الدراسة.

وتبين عمليات محاكاة النموذج أن إجمالي الطلب على المياه في المنطقة يمكن تحقيقه حتى عام 2041 عام 2045 ، سيصل نقص المياه إلى حد أقصى بحلول عام 2050 بحجم يقدر ب 3.95 مليون م³ للسيناريو المتفائل (RC 4.5). سيكون هذا الوضع أكثر خطورة بالنسبة للسيناريو المتشائم (RC 8.5) حيث سيسجل النقص مبكراً أي عام 2025 يقدر ب 130.95 مليون م³ في عام 2050.

الكلمات المفتاحية :

إدارة الموارد المائية ، سهل متيجة ، تغير المناخ ، نموذج WEAP ، حوض مزابان ، شمال الجزائر

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu Tout Puissant, pour m'avoir conduit sur cette recherche et m'avoir permis de la mener à terme.

Je tiens dans un premier temps à exprimer mes plus vifs remerciements au professeur Meddi Mohamed qui fut pour moi un directeur de thèse attentif et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront des moteurs de mon travail de recherche.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury qui ont accepté de lire et juger ce travail. Le professeur Salah Boualem, qui a bien voulu m'honorer en présidant ce jury, de même que le Professeur Boutoutaou Djamel , Professeur Haouchine Abdelhamid et Dr Ammari Abdelhadi, qui ont bien voulu juger ce travail et enrichir le débat aux côtés du professeur Meddi Mohamed, mon Directeur de thèse.

Mes sincères remerciements et ma grande reconnaissance au personnel du service technique de l'ANRH de Blida qui m'ont facilité l'accès aux données.

Je remercie Dr. Nouri de l'INAT Tunisie et toute son équipe pour m'avoir accueilli dans le laboratoire de l'eau INAT pendant deux périodes de Stage.

Je remercie Dr. Kahlerras Djillali pour ces aides et ces précieuses orientations.

Mes vifs remerciements à Dr. Samir Toumi pour ces aides dans l'élaboration de la partie cartographique.

Je remercie Mme Leila Melouah pour la traduction et son soutien moral.

Je témoigne mon amitié à tous mes collègues de l'ENSH de Blida.

Dédicaces

*Je dédie cette thèse à la mémoire de mes parents (ma très chère mère et mon très cher père)
qui avaient toujours souhaité ma réussite.*

A mon très cher mari Djillali pour ces encouragements son soutien, sa patience et son aide.

A mes bijoux: Assil , Amira , Ouail et Raid.

A mon frère et mes sœurs et leurs enfants.

A ma belle famille en particulier ma belle mère.

A ma très chère amie et sœur Leila.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

" وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ "

(الأنبياء: الآية ٣٠)



SOMMAIRE

ملخص

Abstract

Résumé

Introduction Générale

Problématique

1

6

Chapitre 1: PROBLEMES DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

8

I-1 Ressource en eau en Algérie

8

I-1-1 Introduction

8

I-1-2 Les Ressources Hydrauliques

8

I-1-2-1 Les ressources en eau souterraines

10

I-1-2-2 Les ressources en eau de superficielles

11

I-1-3 Politique hydraulique en Algérie

12

I-1-3-1 Barrages

12

I-1-3-2 Les retenues collinaires

12

I-1-3-3 Les Forages

12

I-1-3-4 Superficies Irriguées

13

I-2- Gestion des ressources en eau

13

I-2-1 Introduction

13

I-2-2 Contexte mondial (enjeu planétaire)

16

I-2-3 La gouvernance de la gestion des ressources en eau

16

I-2-3-1 Éléments de la gouvernance de l'eau

16

I-2-3-2 Institutions

17

I-2-3-3 Mécanismes

17

I-2-3-4 Processus

17

I-2-4 Niveaux de la gouvernance de l'eau

18

I-2-4-1 Niveau administratif de la gestion

19

I-2-4-2 Niveaux hydrologiques de la gouvernance

19

I-2-5 Approche à deux voies de la GIRE

20

I-2-5-1 Collaboration horizontale

21

I-2-5-2 Collaboration verticale

21

I-2-6 Analyse critique des études antérieures

21

I-2-7 Conclusion

21

Chapitre II: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

24

II-1 - Les modèles et outils d'aide à la décision dans la gestion des ressources en eau

24

II-1-1 Outil d'aide à la décision dans la gestion des ressources en eau

24

II-1-1-2 Introduction

24

II-1-1-3- Définition

24

II-1-1-3- Outils d'aide à la décision

24

II-1-1-3- 1-Modèles mathématiques

25

II-1-1-3- 2- Systèmes d'informations géographiques (SIG)

25

II-1-1-3- 3-Systèmes experts

26

II-1-1-3- 4-Systèmes d'aide à la prise de décision

26

II-1-1-3-5- Les étapes de l'établissement d'un SAD

27

II-1-2- Les modèles pour la gestion quantitative des ressources en eau	29
II-1-2-1 Utilité d'un modèle pour la gestion des ressources en eau	30
II-1-2-2 Modèles dits de « gestion » et dits « d'optimisation »	31
II-1-2-3 Les apports de la prévision en gestion des ressources en eau	33
II-2- Les modèles hydrologiques et de la gestion des ressources en eau	33
II-2-1 Introduction	33
II-2-2- Les différents Modèles de la gestion des ressources en eau:	33
II-2-2- 1- AQUATOOL	33
II-2-2- 2- PSO-MODSIM	34
II-2-2- 3- RIVERWARE	34
II-2-2-4- RIBASIM	35
II-2-2-5- MIKE BASIN	36
II-2-2-6- HyD 2002	37
II-2-2-8- WATER WARE	38
II-2-2-9- BASINS	42
II-2-2-10- SWAT	43
II-2-2-11- STRATEAU	43
II-2-2-12- IDSS+	44
II-2-2-13- GIBSI	44
II-2-2-14- WEAP	45
Chapitre III: ASPECT GENERAL SUR LA ZONE D'ETUDE	46
III-1 présentation de la zone d'étude	46
III-1-1 Contexte géographique et démographique	46
III-1-2 Climatologie	47
III-1-2-1 Introduction	47
III-1-2-2 Pluviométrie:	48
III-1-2 -3 Température	49
III-1-2-4 Evapotranspiration potentiel «ETP»	50
III-1-3 Etude géologique et géomorphologique	51
III-1-4- Topographie	52
III-1-5 Pédologie	53
III-1-6 Déclivité	54
III-1-7 Régime hydrique	55
III-1-8 Le réseau hydrographique	55
III-1-9 Occupation du sol	55
III-1-10 Couvert végétal de la zone d'étude	56
III-2 Etat des lieux des ressources en eau	58
III-2-1 Etat potentiel des ressources en eau	58
III-2-2 Ressources en eaux superficielles	58
III-2-3 Ressources en eaux souterraines	60
III-2-4 Ressources en eau non conventionnelles	60
a) Dessalement de l'eau de mer	60
b) Recyclage des eaux usées	60
III-3- Besoin en eau	61
III-3-1- Evaluation de la demande en eau domestique, élevage, éducation et santé	61
III-3-2 Demande en eau pour le secteur de tourisme	61
III-3-3 Demande en eau pour le secteur agricole	62
III-3-4 Demande en eau pour le secteur industriel	62

Chapitre IV: ENVIRONNEMENT WEAP	63
IV-1 Introduction	63
IV-2 Présentation	63
IV-3 Historique	63
IV-4 Approche de WEAP	64
IV-5 Principaux objectifs du WEAP	65
IV-6 Caractéristique du modèle WEAP	65
IV-6-1 Modélisation hydrologique à base physique	65
IV-6-2 Modélisation des eaux de surface dans le WEAP	67
IV-6-3 Interaction eau souterraine-eau de surface	70
IV-6-4 Agriculture irriguée	71
IV-6-5 Système de gestion: le module d'allocation	72
IV-6-6 Besoins en eau	72
IV-6-7 Modélisation des réservoirs	73
IV-7 Structure du programme	74
IV-7-1 Présentation schématique	74
IV-7-2 Affichage de données	75
IV-7-3 Présentation des résultats	76
Chapitre V: LE MODELE WEAP DANS LA REGION D'ETUDE	82
V-1 Mise en forme des données dans l'environnement WEAP	82
V-1-1 Discussion de la base de donnée à utiliser	82
V-1-2 Données numériques	82
V-1-3-Configuration du Modèle	84
V-1-4 Disponibilité de la ressource	85
V-1-5 Modélisation du climat	88
V-1-6 Besoins en eau: (domestique, secteur de santé, secteur de l'éducation et secteur de l'élevage)	90
V-1-7 Réservoirs	92
V-2 Présentation des principaux scénarios utilisés	94
V-3 Calage et validation du modèle	97
Chapitre VI : ANALYSE DES RESULTATS DES SCENARIOS	103
VI -1 Evolution de la population :	103
VI- 2 Projection des ressources en eau	104
VI-2-1 Evapotranspiration	104
VI-2-2 Ruissellement / Infiltration	105
VI-2-3 Eau souterraine	107
VI-2-4 Eaux de surface	108
a- Cours d'eau:	108
b- Barrages	115
VI-2-5 Projection de la demande en eau à l'horizon 2050	116
VI-2-6 Evolution de l'offre	117
VI-2-7 Evolution de l'eau distribuée pour tous les sites de demande	118
VI-2-8 La demande non satisfaite	116
VI-2-9 Bilan de gestion des ressources en eaux	122

VI-3 Confrontation besoin- ressources	124
V-3-1 Analyse de l'équilibre entre l'offre et la demande pour chacun des sites de demande	124
VI-3-1-1- Wilaya de Blida	125
VI-3-1-2- Wilaya de Tipaza	130
Conclusion Générale	136
Références Bibliographiques	140
Annexes	

LISTE DES FIGURES	PAGE
Figure I.1 Les cinq régions hydrographique de l'Algérie	10
Figure I.2 Les composantes de la gestion des ressources en eau	15
Figure I.3 Différents niveaux de la gouvernance de l'eau	18
Figure I.4 L'approche à deux voix de la GIRE	20
Figure II.1 Etapes de l'établissement d'un SAD	28
Figure II.2 Modalités d'utilisation d'un modèle pour la gestion	30
Figure II.3 Vue schématique du modèle AQUATOOL	34
Figure II.4 River Ware Workspace and Object Palette	35
Figure II.5 Schematic diagram of the components of a river basin system	36
Figure II.6 Interface MIKEBAZIN - exemple de vue schématique	37
Figure II.7 Interface HyD2002 - Exemple de vue schématique	38
Figure II.8 Aperçu du Modèle Water Ware	39
Figure II.9 Exemple de vue Schématique - Interface BASINS	41
Figure II.10 Aperçu du modèle ArcView SWAT	42
Figure II.11 Aperçu du modèle STRATEAU	44
Figure III.1 Situation géographique du bassin versant du Mazafran	46
Figure III.2 Carte de situation des stations pluviométriques	48
Figure III.3 Evolution de la pluviométrie moyenne sur la région d'étude période (1980-2014)	49
Figure III.4 Pluviométrie de la plaine de la Mitidja	49
Figure III.5 Evolution des températures moyennes dans la région d'étude (période 1980- 2014)	50
Figure III.6: Evolution de l'évapotranspiration calculée par la formule de Thornthwaite pour la période (1980-2014)	51
Figure III.7 Carte géologique de la Mitidja	52
Figure III.8 Présentation du relief de la zone d'étude	53
Figure III.9 La carte de la pédologie de la plaine de la Mitidja	54
Figure III.10 Carte d'occupation du sol	56
Figure III.11 Carte de la végétation du bassin versant du Mazafran	57
Figure III.12 Digue du barrage Boukerdane	58
Figure III.13 Image satellite du lac du barrage de Boukerdane	59
Figure III.14 Barrage de Bouroumi	59
Figure III.15 Image satellitaire du lac du barrage de Bouroumi	60
Figure IV.1 Organigramme pluie-débit dans le modèle WEAP	64
Figure IV.2 Caractérisation de (a) l'avant et (b) l'après développement du bassin versant qui met en évidence les conséquences de l'infrastructure des ressources en eau sur le cycle hydrologique	66
Figure IV.3 La composante de l'hydrologie physique dans le WEAP 21 avec les différentes réalités hydrologiques	67
Figure IV.4 Schéma des deux couches du stockage de l'humidité du sol, montrant les différentes entrées et sorties hydrologiques pour une couverture du sol ou un type de culture	68
Figure IV.5 Schéma du système d'eau souterraine, et ses variables connexes	71
Figure IV.6 Les différents volumes de stockage des réservoirs utilisés pour décrire les politiques d'exploitation des réservoirs	73
Figure IV.7 Les cinq affichages du modèle WEAP	74
Figure IV.8 Interface WEAP - exemple de vue schématique	75
Figure IV.9 WEAP - Exemple de fenêtre de données	76
Figure IV.10 Exemple de Résultats	77

Figure IV.11 Exemple de résultats sur carte	78
Figure IV.12 : Exemple du Schéma synoptique	78
Figure IV.13 Organigramme du fonctionnement de WEAP	81
Figure V.1 Modèle Numérique du terrain de la région d'étude	83
Figure V.2 Modélisation du bassin versant du Mazafran à l'aide du Modèle WEAP	84
Figure V.3 Localisation des forages et puits dans la zone d'étude	86
Figure V.4 Carte des types de sol	86
Figure V.5 Carte de la spatialisation de la salinité en g/l du mai 2012.	87
Figure V.6 Superposition des cartes de type de sol et salinité	87
Figure V.7 Exemple : les ressources en eau souterraines modélisées dans le WEAP	88
Figure V.8 Les données des précipitations intégrées dans le modèle WEAP	89
Figure V.9 Les différentes méthodes pour simuler le processus du bassin versant	89
Figure V.10 Exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage domestique)	90
Figure V.11 Exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage sanitaire)	91
Figure V.12 Exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage de l'élevage)	91
Figure V.13 Exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage du secteur de l'éducation)	92
Figure V.14 Les données du barrage intégrées dans le Modèle WEAP	93
Figure V.15 les données de la station de dessalement intégrée dans le Modèle WEAP	93
Figure V.16 Les données des STEP intégrées dans le Modèle WEAP	94
Figure V.17 Evolution des températures et des pluies projetées pour l'horizon 2050(Scénario RC4.5)	96
Figure V.18 Evolution des températures et des pluies projetées pour l'horizon 2050 (Scénario RC8.5)	96
Figure V.19 Les deux scénarios proposés dans le modèle WEAP	97
Figure V.20 Les stations hydrométriques utilisées pour le calage et la validation du modèle	99
Figure V.21 Calibration et validation du modèle WEAP (a1, b1, c1, et d1: période de calibration, a2, b2, c2, et d2: période de validation).	101
Figure VI.1 Exemple de l'évolution de la population pour un seul site de demande scénario RC4.5 (exemple la ville de Oued el alleug)	103
Figure VI.2 évolution de l'évapotranspiration	104
Figure VI.3 évolution de l'évapotranspiration par sous bassins pour le scénario RC4.5	104
Figure VI.4 Evolution de l'évapotranspiration par sous bassins pour le scénario RC8.5	104
Figure VI.5 Evolution du ruissellement /infiltration pour les deux scénarios	105
Figure VI.6 Evolution du ruissellement /infiltration par sous bassins pour le scénario RC4.5	106
Figure VI.7 Evolution du ruissellement /infiltration par sous bassins pour le scénario RC8.5	106
Figure VI.8 Evolution du stockage des eaux souterraines jusqu'à 2050	107
Figure VI.9 Débit entrant des eaux souterraines pour le scénario RC4.5 à l'horizon	108

2050	
Figure VI.10 Débit entrant des eaux souterraines pour le scénario RC8.5 à l'horizon 2050	108
Figure VI.11 La simulation du débit d'Oued Mazafran (scénario RC4.5)	109
Figure VI.12 La simulation du débit d'Oued Mazafran (scénario RC8.5)	110
Figure VI.13 La simulation du débit d'Oued Bouroumi (scénario RC4.5)	110
Figure VI.14 La simulation du débit d'Oued Bouroumi (scénario RC8.5)	111
Figure VI.15 La simulation du débit d'Oued Chiffa (scénario RC4.5)	111
Figure VI.16 La simulation du débit d'Oued Chiffa (scénario RC8.5)	112
Figure VI.17 La simulation du débit d'Oued Djer (scénario RC4.5)	113
Figure VI.18 La simulation du débit d'Oued Djer (scénario RC8.5)	113
Figure VI.19 Evolution du stockage dans les barrages	115
Figure VI.20 Evolution de la population de la région jusqu'à 2050	116
Figure VI.21 Evolution de la demande en eau pour tous les sites de demande de la zone d'étude pour les deux scénarios jusqu'à 2050.	116
Figure VI.22 Evolution de la disponibilité de la ressource en eau jusqu'à 2050 (scénario RC4.5)	117
Figure VI.23 Evolution de la disponibilité de la ressource en eau jusqu'à 2050 (scénario RC8.5)	117
Figure VI.24 Evolution de la disponibilité de la ressource en eau jusqu'à 2050 (pour les deux scénarios)	118
Figure VI.25 Evolution de l'eau distribuée pour chaque site de demande scénario RC4.5	118
Figure VI.26 Evolution de l'eau distribuée pour chaque site de demande scénario RC8.5	119
Figure VI.27 Eau distribuée pour les deux scénarios du changement climatique (RC4.5 et RC8.5)	120
Figure VI.28 Evolution de la demande non satisfaite pour tous les sites de demande Scénario RC4.5	120
Figure VI.29 Evolution de la demande non satisfaite pour tous les sites de demande Scénario RC8.5	121
Figure VI.30 Tendence de la demande non satisfaite pour les deux scénarios	121
Figure VI.31 Bilan de gestion des ressources en eau pour le scénario RC4.5	122
Figure VI.32 Bilan de gestion des ressources en eau pour le scénario RC 8.5	123
Figure VI.33 Evolution de la demande en eau pour les 9 communes de la wilaya de Blida scénario RC4.5	125
Figure VI.34 Evolution de la demande en eau pour le secteur agricole et industrie de la wilaya de Blida scénario RC4.5	126
Figure VI.35 Evolution de la demande en eau totale pour tous les sites de la wilaya de Blida scénario RC4.5	126
Figure VI.36 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour les 9 communes de la wilaya de Blida scénario RC4.5	127
Figure VI.37 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour les 9 communes de la wilaya de Blida scénario RC8.5	127
Figure VI.38 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour l'agriculture et industrie de la wilaya de Blida scénario RC4.5	128
Figure VI.39 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour l'agriculture et industrie de la wilaya de Blida scénario RC8.5	129

Figure VI.40 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Blida scénario RC4.5	130
Figure VI.41 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Blida scénario RC8.5	130
Figure VI.42 Evolution de la demande en eau pour les 8 communes de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5	131
Figure VI.43 Evolution de la demande en eau pour le secteur agricole de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5	131
Figure VI.44 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour les 8 communes de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5	132
Figure VI.45 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour les 8 communes de la wilaya de Tipasa scénario RC8.5	132
Figure VI.46 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour le secteur agricole de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5	133
Figure VI.47 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour le secteur agricole de la wilaya de Tipasa scénario RC8.5	134
Figure VI.48 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5	135
Figure VI.49 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Tipasa scénario RC8.5	135

LISTE DES TABLEAUX

N° tableaux	PAGE
Tableau I.1 La répartition des ressources hydrauliques	7
Tableau I.2 la répartition du volume d'eau selon l'origine de la ressource	7
Tableau I.3 Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays	9
Tableau I.4 répartition spatiale des eaux de surface	9
Tableau III.1 Répartition de la population	47
Tableau III.2 Caractéristiques générales des stations pluviométriques	48
Tableau III.3 Caractéristiques des dénivelées sur le bassin versant de l'Oued Mazafran	54
Tableau III.4 Végétation par sous bassins	57
Tableau III. 5 Pourcentage de répartition de la végétation par sous bassin	57
Tableau IV.1 Les sorties du Modèle WEAP	79
Tableau V.1 Répartition de la ressource en eau de la zone d'étude	82
Tableau V.2 Paramètres d'entrées et leurs sensibilités	98
Tableau V.3 Comparaison des critères de calage	99
Tableau V.4 comparaison des critères de validation	100
Tableau VI.1 Seuils en millimètres des années sèches, très sèches, humides et très humides ; par la méthode des quintiles, période (1940-2003).	114
Tableau VI.2 : Pourcentage de variation du type de climat le long de la période de projection	114
Tableau VI.3 Bilan de gestion des ressources en eaux (scenario RC4.5)	122
Tableau VI.4 Bilan de gestion des ressources en eaux (scénario RC 8.5)	123
Tableau VI.5 La population calculée par le modèle WEAP pour l'horizon 2050	124

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH: Agences de bassins hydrographiques
AEP: Alimentation en eau potable
AEPI: Alimentation en eau potable et industrielle
AGIRE: Agence Nationale pour la Gestion Intégrée des ressources
ANAT: Agence Nationale d'Aménagement da territoire
ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques
CNES: Conseil National Economique et Social
CNUED: Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement
CORDEX: Coordinated Regional Climate Downscaling EXperiment
DRE: Directions des Ressources en Eau de wilaya
DSS: Decision Support System
FAO: Food and Agriculture Organization
GES : Gaz à Effet de Serre
GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evaluation du Climat
GIBSI: Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé
GIRE: Gestion Intégrée des ressources en eau
GPI: Grands Périmètres Irrigués
GWP: Global Water Partneship
IDSS+: Integrated Decision Support System
ICLEI - Local Governments for Sustainability, International Training Centre
IPCC : Intergouvernemental Panel on Climate Change
IWRM: Integrated Water Resources Management
MATET: Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme
MEAT: Ministère de l'Equipeement et de l'Aménagement du Territoire
MNT: Modèle Numérique du Terrain
MRE: Ministère des Ressources en Eau
NU: Nations Unies
ONA: Office National de l'Assainissement
ONG: Organisations Non Gouvernementales
ONID: Office National de l'Irrigation et de Drainage
ONS: Office National des Statistiques
OPI: Office des Périmètres Irrigués
PMH: Petite et Moyenne Hydraulique
PNE: Plan National de l'Eau
PNUD: Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
RCA4 : Rossby Centre Atmosphere model
RCP : Representative Concentration Pathways
REUE: Réutilisation des Eaux Usées Epurées
RGPH: Recensement Général de la Population et de l'Habitat

RIBASIM: River Basin Simulation Model
SAD: Système d'Aide à la Décision
SDEM: Station de Dessalement d'Eau de Mer
SE: Systèmes Experts
SEI: Stockholm Environment Institute
SIG: Système d'Information Géographique
SMI: Système de Modélisation Intégrée
STEP: Station d'épuration
SWAT: Soil and Water Assessment Tool
UNESCO: United Nations Educational Scientific and cultural Organization
WEAP: Water Evaluation And Planning System
2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'eau douce est une ressource naturelle limitée, nécessaire à la vie et aux systèmes écologiques, et essentielle pour le développement économique et social. Elle est indispensable pour de nombreux usages : l'agriculture utilise 67 % de l'eau prélevée, contre 23% pour l'industrie et 10% pour les agglomérations et usages domestiques dans le monde (2iE, 2010).

L'utilisation de l'eau agricole augmente de plus en plus devant un contexte, d'une part de compétition avec les usages domestiques dont la tendance à la hausse suit l'accroissement de la population, d'autre part dans un contexte de changements climatiques dont les impacts sur les ressources en eau sont de plus en plus manifestes (2iE 2010).

L'eau potable est essentielle pour la santé, la survie, la croissance; il n'y a pas de développement sans eau potable, sans assainissement et sans hygiène. D'ailleurs la communauté mondiale s'est engagée à réduire de moitié le nombre de personnes n'ayant pas accès de façon durable à l'eau de boisson salubre et à l'assainissement de base. L'atteinte des OMD (Objectifs du Millénaire pour le Développement) demeure un défi majeur de nos Etats. L'alimentation en eau potable et l'accès à des systèmes d'assainissement adéquats font donc partie des axes stratégiques majeurs parmi ceux identifiés pour la réduction de la pauvreté.

L'eau douce ne représente que 2,5% du stock total d'eau sur la planète (les 97,5 % restant étant salés), or 2/3 de l'eau douce planétaire est concentrée dans les glaciers et la couverture neigeuse, 1/3 dans les nappes souterraines. Il ne reste que 0,3 % de l'eau douce (soit 0,007% de la totalité de l'eau de la planète) dans les rivières, ruisseaux, réservoirs et lacs (Thierry, 2013).

Aujourd'hui les ressources en eau de manière générale font face à des contraintes majeures que sont la variabilité et le changement climatiques, l'accroissement de la demande, la dégradation de la qualité des eaux, les conflits d'usages et les tensions nationales (amont/aval) ou internationales (cours d'eau partagés) pour le partage de la ressource. Pour faire face à ces préoccupations une meilleure gestion des ressources en eau doit être envisagée. Pour cela il faut une approche intégrée de gestion des ressources en eau, dont l'objectif sera de (Kettab 2010) :

- protéger la ressource et améliorer sa connaissance ;
- planifier l'utilisation de la ressource, et pratiquer une politique d'économie de l'eau;
- impliquer les hommes et femmes équitablement, ensuite prévenir et gérer les conflits liés aux usages de l'eau ;
- satisfaire de façon globale les demandes légitimes et raisonnées (agriculture, électricité, usages domestiques, transports, industrie, loisirs, aquaculture, pêche...) ;
- préserver les écosystèmes et prévenir les risques (érosion, sécheresse, inondations).

Cette approche intégrée est d'autant plus nécessaire que la plupart des utilisations de l'eau apportent des avantages (économique et social) à la société mais elles peuvent avoir également des impacts négatifs (notamment sur l'environnement). Cette situation peut empirer à cause des procédures de gestion insuffisante, l'absence de réglementation ou le manque de motivation provoquée par les régimes de gouvernance de l'eau en place.

La gestion des ressources en eau doit toujours s'opérer dans un cadre caractérisé par trois objectifs interdépendants - sociaux, économiques et environnementaux - et chercher à satisfaire, de manière équilibrée, les besoins correspondants.

La politique repose sur les principes suivants : i) l'eau doit être considérée comme un bien économique, social et environnemental ; ii) les politiques et options guidant la gestion des ressources en eau doivent être analysées dans un cadre global. Elle vise essentiellement à promouvoir un développement efficace, équitable et durable à travers une gestion intégrée des ressources en eau. Conformément à ces principes et objectifs d'intervention, un certain nombre de stratégies ont été élaborées. Elles intègrent des considérations d'ordre économique, social et environnemental et tiennent compte ou découlent des infrastructures techniques ou institutionnelles. En tenant compte de la croissance rapide de la population et de l'expansion urbaine, des caprices du climat, du contexte de la gestion des ressources en eau des pays africains et des besoins fondamentaux liés aux trois types de considérations mentionnées ci-dessus, un certain nombre de questions majeures de politique, résumées ci-dessous, ont été identifiées (OCDE 2000).

La grande inégalité observée dans la répartition de la pluviométrie et dans les conditions de ruissellement, ajoutée à la demande croissante dans plusieurs pays africains, exacerbe considérablement les problèmes liés à la pénurie et à la gestion de l'eau en Afrique.

Les 30 dernières années, certaines zones ont été confrontées à des conditions très sévères de sécheresse. D'autres pays ont connu la tendance inverse. Pour faire face à ces problèmes, il faudrait élaborer des plans d'action stratégiques, y compris la prévision et la gestion de la sécheresse et des inondations (OCDE 2000).

Les questions de gestion des ressources en eau se posent à différentes échelles de temps, d'espace et d'appréhension des écosystèmes, des aménagements, des services d'eau et des institutions qui doivent les gérer. Nous pouvons identifier 3 composantes : (a) le bassin versant, soit le milieu biophysique qui conditionne l'offre en eau avec sa variabilité spatio-temporelle (b) les usages, et donc l'environnement humain et socio-économique qui conditionne les demandes en eau et leurs priorités (c) les aménagements, c'est-à-dire les ouvrages destinés à mobiliser et partager la ressource.

Le bassin Méditerranéen est l'une des régions du monde où les changements globaux (hausse des températures, baisse des précipitations, ressource hydrique rare et mal répartie, croissance démographique, intensification des prélèvements pour répondre à la hausse de la demande) pourraient avoir les impacts les plus importants sur l'environnement et les activités humaines. Les situations de pénurie d'eau que connaissent déjà un certain nombre de pays de la rive sud risquent de s'accroître et de s'étendre aux pays du nord. Pour y faire face, les gestionnaires de la ressource en eau réfléchissent déjà à des stratégies d'adaptation, qui couplent, entre autres, des stratégies de gestion et des politiques agricoles concertées et économes en eau. Cependant, la mise en œuvre de telles réflexions doit s'appuyer sur des moyens et des outils qui sont à développer ou à améliorer, et ce, à l'échelle de bassins versant de taille moyenne à grande. Sont ainsi nécessaires (i) accès à des données de qualité et précision suffisante. (ii) des outils de compréhension et de simulation des processus dans des contextes hydrologiques et anthropiques complexes (karsts, bassins sédimentaires, barrages, etc) (Hamlet 2013).

L'Algérie, est l'un des pays Sud du bassin méditerranéen qui souffre de la pénurie d'eau d'une saison à une autre, et d'une année à une autre. Les potentialités en eau sont globalement estimées à 19 milliards de m³/an (correspondant à environ 600 m³/hab/an) et l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000m³/hab/an (UN 2002).

L'Algérie dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. A l'exception des eaux fossiles du Sahara, les ressources hydrauliques naturelles sont principalement situées dans le Nord du pays. 90 % de la totalité des écoulements superficiels (estimée à 12,4 milliards de m³/an) se trouvent sur la région littorale (7 % de la superficie du territoire), les 10 % restant se partageant entre les Hauts Plateaux et les bassins sahariens. La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté. Multipliée par 4 au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables. A ce rythme, la limite maximum du potentiel hydraulique sera atteinte avant 2050. Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation, se surajoutant aux déséquilibres de disponibilités de ressources entre les régions, et rendant de plus en plus difficiles les arbitrages de répartition. La part que prend l'alimentation en eau potable s'est considérablement accrue en volume et en proportion.

De 16 % de la consommation globale en 1975, elle est passée à 35 % actuellement. Durant la même période, la part de l'eau agricole a chuté de 80 % à 60 %, celle de l'industrie restant égale à 3,5 %. L'alimentation en eau potable a acquis une nette priorité par rapport aux autres utilisations, priorité qui a été consacrée dans la législation algérienne relative à l'eau (Benblidia 2011).

La Mitidja est l'une des plaines les plus fertiles de l'Algérie. Elle constitue le principal réservoir d'eau souterraine couvrant les différents besoins en eau de nombreuses localités de la capitale et de plusieurs villes des quatre wilayas situées en grandes parties dans la plaine (Alger, Blida, Boumerdès, et Tipaza). Elles assurent aussi l'irrigation des dizaines de milliers d'hectares de terres agricoles et l'alimentation de presque toutes les unités industrielles. C'est pourquoi, un intérêt particulier en matière de suivi qualitatif et quantitatif est accordé à cette ressource qui a fait l'objet de nombreuses études hydrogéologiques, hydrologiques (Ait Ouali 2006)

Une des principales raisons de modéliser les ressources pour une gestion durable et d'avoir une image spatiale sur l'état de différents variables explicatives en rapport avec la ressource sur une étendue importante (Droogers et Bastiaansen 2002). La modélisation permet d'analyser des scénarios de gestion et de mesurer les tendances éventuelles (croissance démographique, changements climatiques, etc.) (Droogers et Aerts 2005). Ces scénarios aident les décideurs à ce prononcer sur des stratégies à impacts directs comme c'est le cas pour les changements dans les règles de fonctionnement d'aménagements hydrauliques, l'affectation de l'eau, les investissements dans les infrastructures et les pratiques agricoles. En d'autres termes: les modèles permettant de mesurer l'impact du changement d'orientation de différentes natures sur le milieu naturel sur l'usager (Hamlet 2013).

Dans ce contexte de gestion durable de la ressource en eau, la prédiction du risque de pollution, sécheresse et la protection de cette ressource sont d'une importance capitale. Pour cela, la sauvegarde, à moyen et à long terme, de la qualité et de la quantité de ces ressources s'impose.

La région d'étude (le bassin versant du Mazafran) renfermait une superficie de 21334 ha de terres agricoles en 1998, qui ont nécessité un volume d'eau pour l'irrigation de l'ordre de 93.703Mm³. Ce volume d'eau a enregistré une augmentation pour atteindre 96.94Mm³ en 2015 pour une superficie de terres agricoles de 22071ha. La population était de 615962 habitants en 1998 avec un volume d'eau consommé de l'ordre 52.46Mm³ et de 750847 habitants en 2008 (volume d'eau consommé de l'ordre 63.96Mm³) avec une augmentation de 2%, 21.92 % pour la population et la consommation d'eau respectivement. en 2012, le volume réservé au secteur du tourisme était de 1.14Mm³. La région est une zone touristique par excellence (mer méditerranée, ruines romaines ect...). Cette dernière demande en eau connaîtra une augmentation significative dans le future. Pour répondre à l'ensemble de ces besoins et le développement socio-économique de la région une étude prévisionnelle de la gestion des ressources en eau dans la région devient une nécessité.

Pour tenter de répondre à la problématique de la vulnérabilité des ressources en eau face aux changements climatiques nécessite une gestion intégrée des ressources en eau en se basant sur la connaissance de la situation actuelle et à venir des ressources existantes. Pour ce faire, l'approche par le modèle WEAP 21 (Water Evaluation and Planning System) a été choisie. Le modèle est appliqué pour évaluer et analyser l'équilibre actuel et projeté (scénarios futurs) de gestion des ressources en eau en prenant en compte les différentes politiques et les facteurs opérationnels qui peuvent affecter la demande jusqu'en 2050. Afin d'assurer que l'eau disponible dans le futur est durable et adéquate de quantité et la qualité pour répondre aux demandes concurrentes à long terme, une gestion intégrée des ressources en eau s'impose. C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail en utilisant le WEAP.

Les changements de température et de configuration des précipitations risquent d'affecter les processus hydrologiques et les ressources en eau disponibles pour l'agriculture, la population, les mines, l'industrie, la vie aquatique et l'énergie hydroélectrique. Les changements climatiques accéléreront le cycle hydrologique mondial avec une augmentation de la température de surface, des changements dans les régimes de précipitations et des taux d'évapotranspiration (Bates et al. 2008). Le phénomène du changement climatique est considéré aujourd'hui comme l'un des problèmes les plus importants et les plus actuels. cela a suscité beaucoup de débats et d'intérêt aux niveaux national et mondial.

L'un des outils les plus efficaces pour prévoir les changements de précipitations et de température est l'outil MAGICC / SCENGEN (Wigley 2008), basé sur les scénarios de changement climatique du GIEC. Il est utilisé dans de nombreux domaines d'études (Fordham et al. 2011, Roshan et al. 2012). Les résultats des projections des modèles MAGICC / SCENGEN pour les deux scénarios RC4.5 et RC8.5 ont été utilisés dans le logiciel d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP).

Les différentes étapes de ce travail de thèse sont articulées de la manière suivante:

Le premier chapitre, consiste une présentation sur les problèmes des ressources en en Algérie, un rappel sur les concepts et enjeux de gestion des ressources en eau et un aperçu sur la situation de la gestion des ressources en eau et les potentialités des ressources en eau en Algérie.

Le second chapitre, consiste une recherche bibliographique concernant l'intérêt des modèles hydrologiques et celui des systèmes d'aide à la décision dans le domaine de la gestion des ressources en eau et une présentation des différents modèles hydrologiques.

Le troisième chapitre, contient une présentation générale de la région d'étude car une gestion durable de l'eau exige une compréhension globale du territoire concerné. Nous avons, également, traité l'état des lieux des ressources en eau ainsi que la demande en eau actuelle en étudiant ses deux composantes: la population et sa consommation d'eau ainsi que les pertes dans les processus de production et de distribution de l'eau potable.

Le quatrième chapitre consiste un rappel théorique sur l'Environnement WEAP, son approche, ces objectifs, ces caractéristiques et la structure du programme.

Le cinquième chapitre est consacré pour la configuration du modèle WEAP dans la région d'étude pour la mise en place d'un système d'aide à la décision pour la gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Mazafran qui a été utilisés comme test de l'approche proposé permettent d'arriver à une situation d'équilibre hydrique pour l'horizon 2050, suivi par une présentation des scénarios utilisés et un calage et validation du modèle.

Le dernier chapitre présente l'analyse des résultats obtenus pour les scénarios proposés de la gestion, suivie par une étude de la confrontation besoin-ressources pour chaque site de demande dans la région d'étude. Enfin, nous avons conclu par les perspectives d'amélioration de la gestion des ressources en eau.

PROBLEMATIQUE

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du bassin méditerranéen. Le changement climatique et la croissance urbaine et démographique, dans la région, risquent d'aggraver la situation de stress hydrique à moyen et long termes.

En Algérie, et plus précisément la plaine de la Mitidja plusieurs facteurs peuvent expliquer la situation de stress hydrique enregistrée actuellement :

- Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles: la croissance démographique et le développement socio-économique du pays ont conduit, durant les décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eaux potable, industrielle et agricole (PNUD 2009) ;
- Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources: la forte concentration des besoins en eau sur la bande littorale (60%) oblige les gestionnaires à une réaffectation, par des transferts de ressources en eau assez coûteux financièrement, pour équilibrer les déficits (PNUD 2009)
- La pollution des nappes et des ressources superficielles: les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés ;
- La réduction de la recharge naturelle des aquifères et la surexploitation de leur eau
- Les pertes dues à la vétusté des réseaux de distribution et à l'insuffisance de la gestion
- Les coûts sans cesse importants des investissements nécessaires à la mobilisation et au transfert des ressources en eau.

QUESTIONS CLES DANS LA GESTION DE L'EAU

Crise de gouvernance de l'eau

Les approches sectorielles à la gestion des ressources en eau ont prévalu par le passé et règnent encore. Ceci aboutit à une gestion et à une mise en valeur non coordonnées et fragmentées de la ressource (Larbi 2012). D'ailleurs, la gestion de l'eau se fait habituellement par les institutions du sommet à la base, des institutions dont la légitimité et l'efficacité ont été de plus en plus remises en question. Ainsi, une gouvernance insuffisante accentue la concurrence entre les différents utilisateurs sur une ressource limitée. La GIRE apporte une solution pratique dans la gestion rationnelle et optimale parmi les différents secteurs (Larbi 2012).

Garantir l'eau pour les populations

Bien que la plupart des pays accordent la priorité à la satisfaction des besoins humains fondamentaux en eau, un cinquième de la population du monde n'a pas accès à l'eau potable saine et la moitié de la population n'a pas accès à un assainissement adéquat (Kherbeche 2014).

Ces insuffisances de service affectent principalement les segments les plus pauvres de la population des pays en développement. Dans ces pays, la satisfaction des besoins d'approvisionnement en eau et de l'assainissement en faveur des zones rurales et urbaines représente un des défis les plus sérieux pour les années à venir. La réduction de moitié de la proportion de population qui ne dispose pas de services d'eau et d'assainissement est un des Objectifs du Millénaire pour le développement (IPEMED 2013). Pour ce faire, il faudra une réorientation substantielle des priorités d'investissements, ce qui sera réalisé beaucoup plus aisément dans ces pays qui mettent aussi la GIRE en œuvre.

Dans le bassin du Mazafran, sujet de notre travail, la population était de l'ordre de 615962 habitants en 1998 avec un volume d'eau consommé d'environ de 52.46Mm³ et de 750847 habitants en 2008 avec volume d'eau consommé de l'ordre 63.96Mm³ avec une augmentation de 2%, 21.9 % pour la population et la consommation d'eau respectivement. Il renfermait une superficie de 21334 ha de terres agricoles en 1998 avec volume d'eau pour l'irrigation de l'ordre de 93.703Mm³. Ce volume d'eau a enregistré une augmentation pour atteindre 96.94Mm³ en 2015 pour une superficie de terres agricoles de 22071ha. En 2012, le volume réservé au secteur du tourisme était de 1.14Mm³. Au regard de cette évolution rapide dans les besoins pour les différents secteurs, une gestion intégrée devient une nécessité absolue pour assurer un équilibre entre l'offre et la demande future surtout si on ajoute les effets probables des changements climatiques et anthropiques. Le modèle WEAP 21 (Water Evaluation and Planning System) sera appliqué pour développer un outil d'aide à la décision pour les différents cas de figures en tenant compte des deux scénarios de changement climatiques (pessimiste et optimiste). Les progrès réalisés dans le domaine des technologies informatiques, en particulier les systèmes d'informations géographiques (SIG) et les systèmes d'aide à la décision (SAD), ont facilité de manière significative la prise de décisions dans le domaine de la gestion par bassin dans nombre de pays. Ces outils sont particulièrement utiles à la définition des priorités et des options de gestion (GWP 2009).

Le développement de cet outil, pour le bassin du Mazafran, permettra une gestion rationnelle et optimale des ressources en eau disponibles ainsi que leur affectation par secteur. Il sera question aussi de proposer de nouveaux moyens de mobilisation pour répondre aux besoins futurs aux horizons 2030 et 2050 afin de garantir l'eau pour les populations.

**CHAPITRE I : PROBLEMES DES
RESSOURCES
EN EAU EN ALGERIE**

CHAPITRE I : ETAT DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

I-1 Ressource en eau en Algérie

I-1-1 Introduction:

En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées et, compte tenu des problèmes démographiques et de l'occupation de l'espace, sachant que près de 60% de la population algérienne sont concentrés dans la frange septentrionale du territoire qui ne représente que le dixième de la surface totale du pays (Boudjadja et al.2003).

La pluviométrie moyenne annuelle en Algérie du nord est évaluée entre 95 et 100 10^9 m³. Plus de 80 10^9 m³ s'évaporent, 3 10^9 m³ s'infiltrent et 12.5 10^9 s'écoulent dans les cours d'eau (Remini, 2010). Ces dernières années, le problème de l'eau est aggravé par une sécheresse qui a touché l'ensemble du territoire Algérien, et qui a montré la nécessité d'accorder une très grande importance à l'eau.

I-1-2 Les Ressources Hydrauliques

Le territoire algérien s'étend sur 2,4 millions de km². Du Nord au Sud, on trouve trois ensembles très contrastés, différents par leur relief et leur morphologie. Commenant par la chaîne du Tell et le littoral, puis la chaîne de l'Atlas qui longe les Hautes Plaines plus au Sud, enfin, le désert saharien qui s'étend au-delà du massif de l'Atlas. Sur la base de cette disposition du relief et les conditions climatiques, se détermine le potentiel agricole et les ressources en eau du pays (PNUD 2009).

La plus grande partie du pays (87%) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est soumet à un climat méditerranéen ; elle dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surfaces que pour les nappes phréatiques. Les 90% des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 7% du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves (PNUD 2009).

Les potentialités globales en eau sont évaluées à 16.8 milliards de m³/an dont 80 % seulement sont renouvelables (70 % pour les eaux de surface et 10 % pour les eaux souterraines). Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à de 2 Milliards de m³/an. Les ressources superficielles y sont estimées à 12 milliards de m³/an.

Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT) (PNUD 2009). La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable et elle seraient exploitées comme un gisement et qui se traduit par un abattement continu du niveau de ces nappes (Loucif S 2003).

La répartition des ressources hydrauliques se présente comme suit :

Tableau I.1 La répartition des ressources hydrauliques

	Ressources			
	Superficielles	Souterraines	Total	
	Milliards m ³		Milliards m ³	%
Nord	12	1.9	13.9	82
Sud	1.5	1.4	2.9	18
Total	13.5	3.3	16.8	100
%	(80)	(20)	(100)	

(CNES, 2000)

Les écoulements superficiels sont essentiellement concentrés dans la frange septentrionale du pays, s'étend sur environ 300000 km², soit 13 % de la superficie du pays. Les régimes hydrographiques dans cette zone soumis a un régime climatique méditerranéen semi-aride sont caractérisés par l'extrême irrégularité saisonnière et interannuelle des apports en eau, la violence et la rapidité des crues et l'importance des transports solides.

Schématiquement, les ressources en eau superficielles décroissent du Nord au Sud, au fur et a mesure que croissent les ressources en eau souterraines. Les eaux de surface figurent pour 32 % du bilan alors qu'elles constituent 80 % des ressources globales (Loucif S, 2003).

Selon, Les volumes d'eau utilisés s'élèvent à environ 4 milliards de m³ soit près du quart du potentiel se sont des estimations de l'Agence nationale des ressources en eau . Ces volumes sont répartis en fonction de l'origine de la ressource et se présente comme suit :

Tableau 1.2 la répartition du volume d'eau selon l'origine de la ressource

origine de la ressource	Million de m ³	%
Barrage de régulation	932	24
Lacs collinaires	28	1
Puits et forages	2044	51
Sources, prise au fil de l'eau	950	24
Total	3954	100

Source: (CNES 2000)

L'utilisation des eaux se répartit à raison de 55,3 % pour l'agriculture (2,1milliards de m³), 34,2 % pour l'AEP (1,3 milliards de m³) et 10,5 % pour l'industrie (0,4 milliards de m³) (CNES; 2000).

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant les 17 bassins versant. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

- L'Oranie -Chott- Chergui,
- Le Chellif-Zahres,
- L'Algérois -Hodna- Soummam,
- Le constantinois -Seybouse-Mellegue,

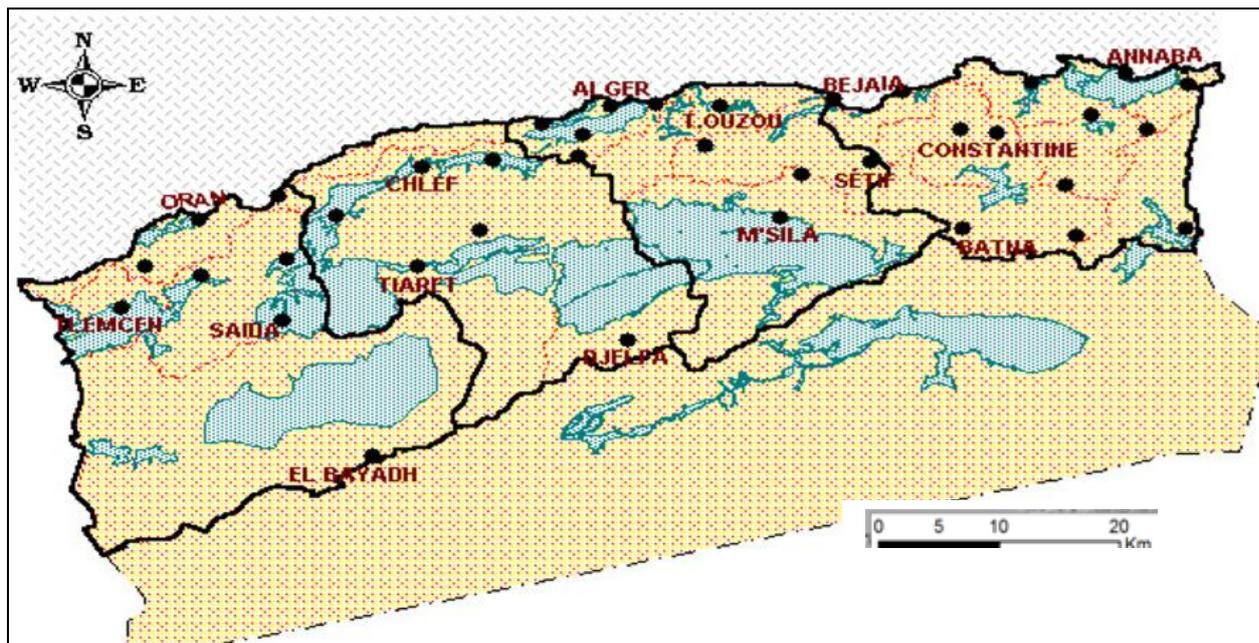


Figure I.1 Les cinq régions hydrographique de l'Algérie (ANRH 2012)

La disparité spatiale des ressources en eau est un autre indicateur qui montre que les régions hydrographiques oranie-chott chergui et chéouli-zahrez qui correspondent à trois fois la région constantinoise-medjerda-mellègue en terme de superficie, n'en représentent que 70 % en terme de ressources en eau.

Le constantinois-seyousse-mellègue, bien arrosé et où les précipitations sont les moins aléatoires, constitue la région la plus riche en eau ; elle reçoit près de 39 % des écoulements annuels en eau de surface du pays. En revanche, la région oranie-chott-cheroui, bien que plus étendue en termes de superficie (35% environ de la superficie de l'espace tellien), ne reçoit à peine que 8% des écoulements de surface totaux (Loucif S 2003).

I-1-2-1 Les ressources en eau souterraines

Les nappes phréatiques sont alimentées par les précipitations grâce à la perméabilité des sols. Dans le Nord du pays, les eaux souterraines sont estimées à 1,9 milliards de m³. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90% ; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique (Mitidja et autres périmètres urbains, industriels d'irrigation et de tourisme). Actuellement, on estime à plus de 12 000 forages, 9000 sources et 100 000 puits qui sollicitent les nappes -pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI) (CNES 2000). Les pompages agricoles restent faibles par rapport à ceux réalisés pour l'industrie et l'AEP. La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit:

Tableau I.3 Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays

Bassin hydrographique	Oranie - chott- chergui	chellif- zahres	Algérois -hodna- soummam	Constantinois - seybouse- mèllègue	Total
(Hm ³ /an)	375	231	745	28.9	1894
Pourcentage%	19.7	12.2	39.2	28.9	100

(Rapport CNES2000)

A l'inverse des ressources en eaux souterraines situées dans le Sud, les réservoirs du Nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total 126 nappes principales.

Dans le Sud du pays, quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres, existent dans les lits d'oueds tels que les oueds Ghir, M'zab, Saoura, etc. mais l'essentiel du potentiel en eau se trouve dans les nappes du Sahara septentrional. Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi-fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 80 millions de m³ environ (CNES 2000).

I-1-2-2 Les ressources en eau superficielles:

Provenant des précipitations annuelles, elles sont estimées à 12,4 milliards de m³ (ANRH, 1993), qui hélas pour la plupart vont se déverser dans la mer méditerranée. La répartition des écoulements superficielles est hétérogène à travers le territoire national. Le Nord qui représente 7 % du territoire national, reçoit un pourcentage très élevé de précipitations de l'ordre de 92 % du total.

De même cette hétérogénéité s'observe d'Est en Ouest dans le tell, les bassins du centre et de l'Est reçoivent 80 % de l'apport, tandis que dans la steppe et Sahara les écoulements superficiels sont extrêmement faibles, elles se présentent sous forme de crues épisodiques.

Ces ressources en eau sont réparties par bassin hydrographique selon le tableau suivant :

Tableau I.4 répartition spatiale des eaux de surface

Bassin hydrographique	Oranie - chott- chergui	chellif- zahres	Algérois - hodna- soummam	Constantinois -seybouse- mèllègue	Sud	Total
(Hm ³ /an)	1025	1840	4380	4500	600	12345
Pourcentage%	8.7	15.7	37.3	38.3	0.48	100

(Rapport CNES2000)

Les débits sont irréguliers dans l'année avec des étiages nuls et des crues de courtes périodes mais violentes, causant une érosion à l'amont et des inondations à l'aval.

L'irrégularité interannuelle est aussi marquée.

Les besoins en eau ont tendance à être à forte composante saisonnière: l'irrigation, la population, ainsi que la part du tourisme concentré dans Les zones littorales concourent à déterminer une forte saisonnalité des utilisations de l'eau.

A l'inverse de la variabilité saisonnière des ressources : les demandes en eau sont maximales quand les ressources sont minimales. Ce déphasage entre le régime des ressources et des demandes se produit également à l'échelle interannuelle, ce qui accentue les risques de pénurie conjoncturelle (Loucif S. 2003)

I-1-3 Politique hydraulique en Algérie

Avant 1970, la politique de l'eau a été une sorte de continuité de ce qui avait prévalu avant l'indépendance. Par la suite, de nouveaux objectifs ont été définis par les pouvoirs publics et qui existent dans les différents plans de développements. Dans tous ces plans l'accent a été mis sur la mobilisation de l'eau, l'extension des superficies irriguées et l'amélioration des conditions d'hygiène des populations par le raccordement aux réseaux d'eau potable et d'assainissement.

A partir de la décennie 1980, le secteur a pu bénéficier d'un plan hydraulique national destiné essentiellement à définir les priorités, les objectifs et les moyens d'une politique en la matière. Ce plan avait dégagé des orientations nouvelles: après la priorité quasi-exclusive accordée à la grande hydraulique, il a préconisé une relance de la petite et moyenne hydraulique (PMH) qui s'est traduite par la multiplication des forages, des lacs collinaires des dérivations d'oueds.

I-1-3-1 Barrages

Les barrages ont été longtemps le principal vecteur disponible en matière de domestication des eaux superficielles.

Depuis 1962, de nombreux barrages ont été réalisés, 80 barrages sont aujourd'hui en exploitation dont 43 avec une capacité supérieure à 10 millions de m³ et un volume régularisé globale de l'ordre de 198,8 millions de m³; 22 ouvrages sont en construction et 52 en projet.

I-1-3-2 Les retenues collinaires

En 1979 il y avait 44 barrages collinaires totalisant une capacité de 21 hm³/an. Considéré comme la petite hydraulique, ce type d'ouvrage ne retient l'attention qu'à partir de la décennie 1980. Après cette période 667 retenues collinaires ont été réalisées. Leur capacité de stockage avoisine Les 90 millions de m³

La gestion et l'exploitation des retenues relève que 80 % de ces ouvrages sont opérationnels et que les eaux mobilisées sont utilisées à :

- 75 % (81 000000 m³) pour l'agriculture. (Maraichage, arboriculture et céréaliculture),
- 4 % pour l'élevage,
- 1 % pour l'alimentation en eau potable,
- 20 % des retenues ne sont pas exploitées pour des raisons diverses, notamment l'absence d'exploitant, de structure de gestion, de matériel d'irrigation ou de disponibilité de terres à proximité.

I-1-3-3 Les Forages

En 1985, le nombre de forages exploités était d'environ 5 500. En 1999, plus de 2000 forages ont été encore réalisés dans le Nord du pays, fournissant un volume de 1 milliard de m³ répartis entre l'alimentation en eau potable pour 852 millions de m³ et l'irrigation pour 147 millions de m³.

Par ailleurs, 742 forages auraient été également réalisés dans le sud et mobiliseraient un volume annuel de 221 millions de m³ pour l'alimentation en eau potable et 505 millions de m³ pour l'irrigation (CNES 2000).

I-1-3-4 Superficies Irriguées

D'après les études pédologiques, le potentiel des terres irrigables atteint environ 850000 ha, soit 11% des terres arables (7,5 millions d'ha) (Loucif S. 2003).

En Algérie, Les zones irriguées sont classées en:

- 1) Grands périmètres d'irrigations (GPI), infrastructure moderne d'irrigation, desservis essentiellement par de grands barrages, de taille supérieure à 3000 ha environ ;
- 2) Petits et moyens périmètres (PMH) d'irrigation, s'étendant entre la centaine et quelques milliers d'ha, avec des réseaux modernes ou traditionnels d'irrigation, desservis à partir de petits barrages, dérivations d'oueds ou de forages ;
- 3) Les secteurs d'irrigation individuelle, desservis a partir de puits, de sources ou par épandage de crue.

Les superficies irriguées s'élevaient en 1989 a 378 000 ha; en 1995, elles ont atteint 454000ha (y compris les épandages de crues), soit 50 % du potentiel irrigable et se répartissent comme suit (Loucif S. 2003) :

- 38000 ha (8,4 %) périmètres gérés par Les offices de périmètres irrigués (OPI) et irrigués a partir des barrages,
- 142000 ha (31,3 %) dans les wilayas du sud,
- 274000 ha (60,3 %) à travers la petite et moyenne hydraulique (PMH) dans le Nord.

La superficie irriguée n'a pratiquement pas évolué de 1960 a 1970. Au cours de 1980-84, environ 40000 ha nouveaux ont été mis en irrigation, soit 8000 ha/an ; 10000 ha existants ont en outre été réhabilités.

I-2- Gestion des ressources en eau

I-2-1 Introduction

Dans la pratique, La notion de gestion des ressources en eau varie selon le contexte. Au niveau opérationnel, l'enjeu est de traduire les principes admis en action concrète. Pour ce faire, on a souvent recouru à ce qu'on appelle la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), où il est entendu que « gestion » englobe aussi bien la notion de gestion que celle de développement (Tshibamba 2005).

Cependant, le concept de gestion intégrée des ressources en eau, fait l'objet d'une intense controverse.

La gestion intégrée des ressources en eau est définie comme une philosophie holistique de la gestion des ressources en eau qui cherche à intégrer la planification, le développement et la gestion traditionnelle des ressources en eau dans tous les secteurs d'utilisation. Il s'agit d'une des gestions des ressources en eau qui reconnaît à par entière (Tshibamba 2005):

- Tous les aspects physiques naturels des ressources en eau de surface et souterrains, y compris les variations dans le temps et l'espace ;
- Tous les secteurs de l'économie qui dépendent de l'eau et donc leurs contributions et conséquences complètes relatives à l'eau (y compris les eaux usées) ;

- Les contraintes et objectifs nationaux pertinents touchant à l'eau, y compris les contraintes et objectifs sociaux, légaux, institutionnels, financiers et environnementaux.

Le but global de la GIRE est de réaliser l'utilisation intégrale et durable à travers des politiques, institutions et instruments de contrôle appropriés et des mesures d'encouragement économiques et financières.

En matière de lutte pour le développement économique et social, les défis auxquels sont confrontés un nombre croissant de pays sont de plus en plus liés à l'eau. La gestion intégrée des ressources en eau permet d'aider les pays à faire face aux problèmes liés à l'eau de manière efficace (Tshibamba 2005).

I-2-2 Contexte mondial (enjeu planétaire)

Le consensus international sur la gestion intégrée des ressources en eau s'est développé au cours d'un certain nombre d'années, et a été influencé par un certain nombre d'événements importants. Un des plus significatifs de ces événements est la décennie internationale d'adduction d'eau potable et de l'assainissement des Nations Unies (1981-1990), également appelée la « Décennie de l'eau ».

Suite à la décennie de l'eau, la conférence internationale sur l'eau et l'environnement s'est tenue à Dublin en 1992. C'était la conférence mondiale sur l'eau la plus significative depuis celle de Nations Unies tenue à Mar de Plata en 1977. Cette conférence a fourni les principales données de base sur les problèmes d'eau douce à la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED), tenues à Rio de Janeiro en juin 1992. La CNUED visait à élaborer des stratégies et des mesures en vue de freiner et d'inverser les effets de la dégradation de l'environnement et de promouvoir ainsi la gestion intégrée des ressources en eau.

Un autre événement important qui a été la création du Partenariat Mondial de l'Eau en anglais « Global Water Partnership (GWP) » et le conseil mondial de l'eau en 1996 en vue d'améliorer la coordination des activités dans le secteur de l'eau au niveau international. Les deux institutions ont pour mission, la coordination de la mise en œuvre des principes et pratiques de GIRE à travers le monde. Un plan d'action global pour les années 90 et se poursuivant au 21ème siècle, appelé Action 21, a été élaboré.

Le consensus international sur la GIRE, né de ces nouveaux développements, porte essentiellement sur les quatre principes de Dublin, qui sont généralement considérés comme fondamentaux dans ces domaines. Ces principes sont les suivants (Nations Unies 1992):

- 1 - L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, essentielle pour préserver la vie, le développement et l'environnement ;
- 2 - L'exploitation et la gestion de l'eau doivent se fonder sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux ;
- 3 - Les femmes jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement, la gestion et la préservation de l'eau ;

4 - L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et doit donc être reconnue comme un bien économique.

Les mesures prioritaires recommandées par l'Action 21 pour l'utilisation durable et efficace des ressources en eau douce sont :

- Exploitation et gestion intégrée des ressources en eau ;
- Evaluation des ressources en eau ;
- Protection de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques ;
- Fourniture d'eau salubre pour la boisson, la production alimentaire, le développement rural et l'assainissement ;
- Compréhension et surveillance des impacts du changement climatique sur les ressources en eau.

Dans la gestion des ressources en eau, on peut identifier 3 composantes (figure 1) :

- le bassin, c'est le milieu qui conditionne l'offre en eau avec sa variabilité spatio-temporelle ;
- les usages, ce sont les sociétés qui conditionnent les demandes en eau et leur priorité ;
- les aménagements, ce sont les ouvrages destinés à mobiliser et partager la ressource.

La gestion tient une position centrale car elle recouvre différents aspects : techniques, réglementaires, économiques, participatifs qui peuvent porter sur les 3 composantes (Pouget et al.2003).

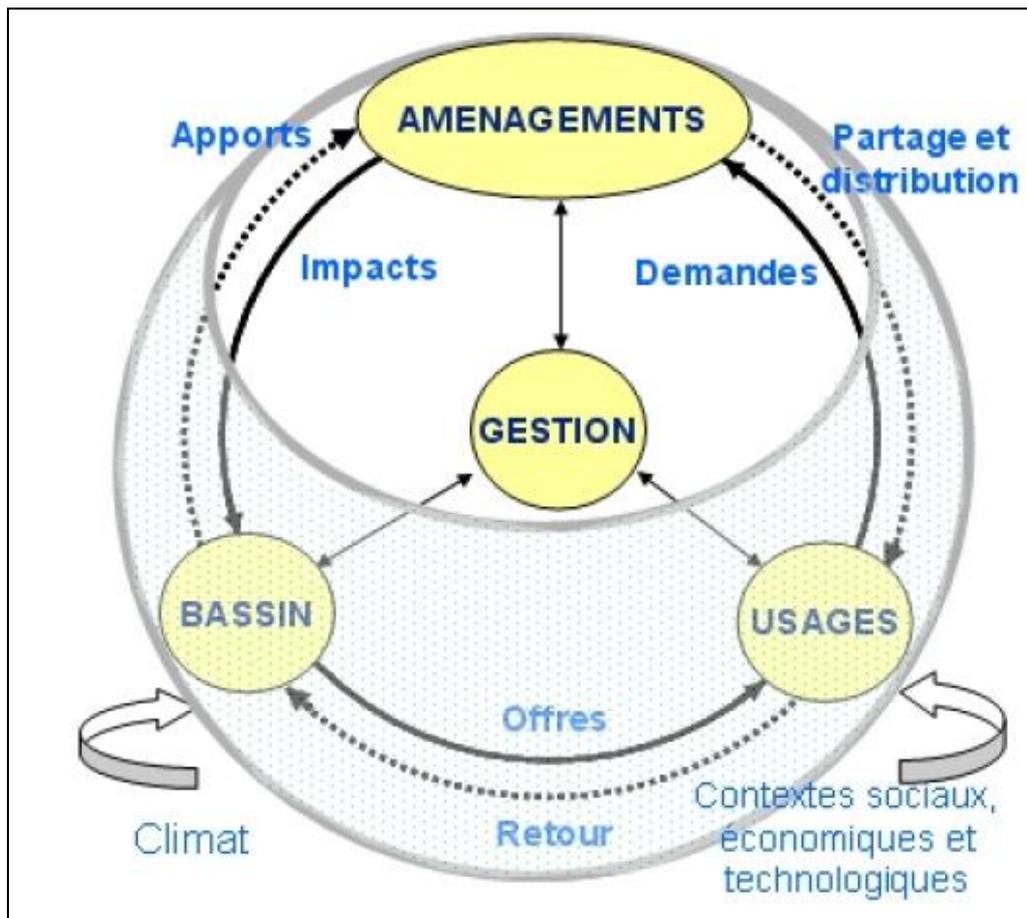


Figure I.2 Les composantes de la gestion des ressources en eau (Pouget et al.2003)

I-2-3 La gouvernance de la gestion des ressources en eau

Définition de la gouvernance de l'eau

Pour que les gouvernements locaux réussissent à mettre en œuvre les principes de la GIRE, il faut établir un bon cadre de gouvernance des ressources en eau. Il est donc essentiel que les gouvernements locaux connaissent bien les structures de gouvernance avant de s'embarquer dans la planification et la mise en œuvre d'actions de la GIRE. La gouvernance des ressources en eau se rapporte au système selon lequel on prend et fait respecter les décisions concernant la gestion des ressources en eau (ICLEI 2008a).

Selon le PNUD: «La gouvernance est l'exercice de l'autorité politique, économique et administrative dans la gestion des affaires d'un pays à tous les niveaux. La gouvernance comprend les mécanismes complexes, processus et institutions à travers lesquels les citoyens et les groupes expriment leurs intérêts, modèrent leurs différences, et exercent leurs droits et obligations légaux.» (PNUD, 1997).

I-2-3-1 Éléments de la gouvernance de l'eau

On peut décrire la gouvernance de l'eau par des éléments différents (ICLEI 2008a), à savoir:

- Les diverses institutions formellement responsables de la gestion des ressources en eau;
- Les mécanismes que cette gestion doit utiliser;
- les processus concrets que l'on exécute pour cette gestion des ressources en eau.

Certains éléments de bonne gouvernance peuvent être définis selon les différents niveaux administratifs. Ces éléments varient selon le système politique et institutionnel de chaque pays, mais d'une façon générale, les éléments de base sont universels (ICLEI 2008a).

I-2-3-2 Institutions

Il existe de nombreuses institutions possédant l'autorité nécessaire pour définir les cadres contraignants pour la gestion des ressources en eau. On peut inclure les administrations gouvernementales et les régulateurs aux niveaux locaux, nationaux et supranationaux, ainsi que les agences et organismes aux niveaux des bassins versants et bassins fluviaux. Peuvent aussi entrer dans le système d'autres parties prenantes telles que les organisations non gouvernementales (ONG), les associations d'utilisateurs de l'eau, les organisations communautaires, et le secteur privé, mais leur influence est de nature différente puisqu'elles n'ont pas l'autorité d'organismes gouvernementaux. Cependant, elles représentent des véhicules importants pour que les groupes d'intérêt puissent influencer la prise de décision (ICLEI 2008a).

Les gouvernements locaux, en tant que le niveau de gouvernement se rapportant étroitement aux affaires locales, occupent une position unique dans le système de gouvernance de l'eau. D'une part, ils ne possèdent pas de mandat direct concernant la gestion des ressources en eau; d'autre part, ils possèdent de nombreux mandats qui sont directement et indirectement liés aux ressources en eau. Les gouvernements locaux peuvent aussi user de leur 'autorité' pour étendre la participation des parties prenantes dans les processus de prise de décision au niveau local, de ce fait permettant une approche plus participative à la gestion des ressources en eau au niveau local. (PNUD, 1997).

I-2-3-3 Mécanismes

Les mécanismes de la gouvernance de l'eau se trouvent dans la législation, les règlements et les politiques auxquels la gestion des ressources en eau doit se conformer. Ces mécanismes sont en général établis aux niveaux internationaux, nationaux, et des bassins fluviaux ou bassins versants. En ce qui concerne les gouvernements locaux, les textes législatifs formulés par le gouvernement national sont probablement les plus pertinents. Bien que l'augmentation de la décentralisation donne aux gouvernements locaux le pouvoir de formuler leurs propres arrêtés et politiques locaux, ils n'en doivent pas moins se conformer aux cadres provinciaux, nationaux et supranationaux. Les gouvernements locaux, par conséquent, doivent bien connaître ces cadres juridiques et réglementaires pour éviter toutes contraventions à la loi et les amendes et sanctions que celles-ci entraîneraient (ICLEI 2008a).

I-2-3-4 Processus

Les processus de la gouvernance de l'eau concernent l'interaction entre les institutions et l'application des mécanismes de gouvernance. Les processus peuvent être toute une gamme de mesures liées aux mandats des gouvernements locaux qui utilisent l'eau à des fins spécifiques, telles que les services liés à l'utilisation de l'eau, l'utilisation de l'eau aux niveaux agricoles et industriels, le tourisme, l'énergie hydroélectrique, et la gestion de l'environnement. Les gouvernements locaux doivent faire en sorte que ces mesures soient conformes aux lois et politiques telles qu'établies dans les cadres appropriés auxquels la gestion des ressources en eau doit se conformer (ICLEI 2008a).

Les processus de gouvernance au niveau local ne sont pas limités aux mesures adoptées pour remplir les mandats associés aux ressources en eau. Les gouvernements locaux constituent également l'institution principale chargée des questions relatives aux lois, à la planification intégrée, la participation des parties prenantes et la résolution des conflits au niveau local.

Les processus de gouvernance de l'eau se rapportent à l'interaction entre les institutions par lesquelles les mécanismes sont exécutés (ICLEI 2008a).

I-2-4 Niveaux de la gouvernance de l'eau:

Le système de gouvernance de l'eau fonctionne à des niveaux différents dans deux types de limites: administratives et hydrologiques. Les limites administratives suivent rarement les limites hydrologiques, ce qui entraîne souvent des défis dans le système de gouvernance de l'eau.

La Figure I.3 montre les différents niveaux de la gouvernance de l'eau.

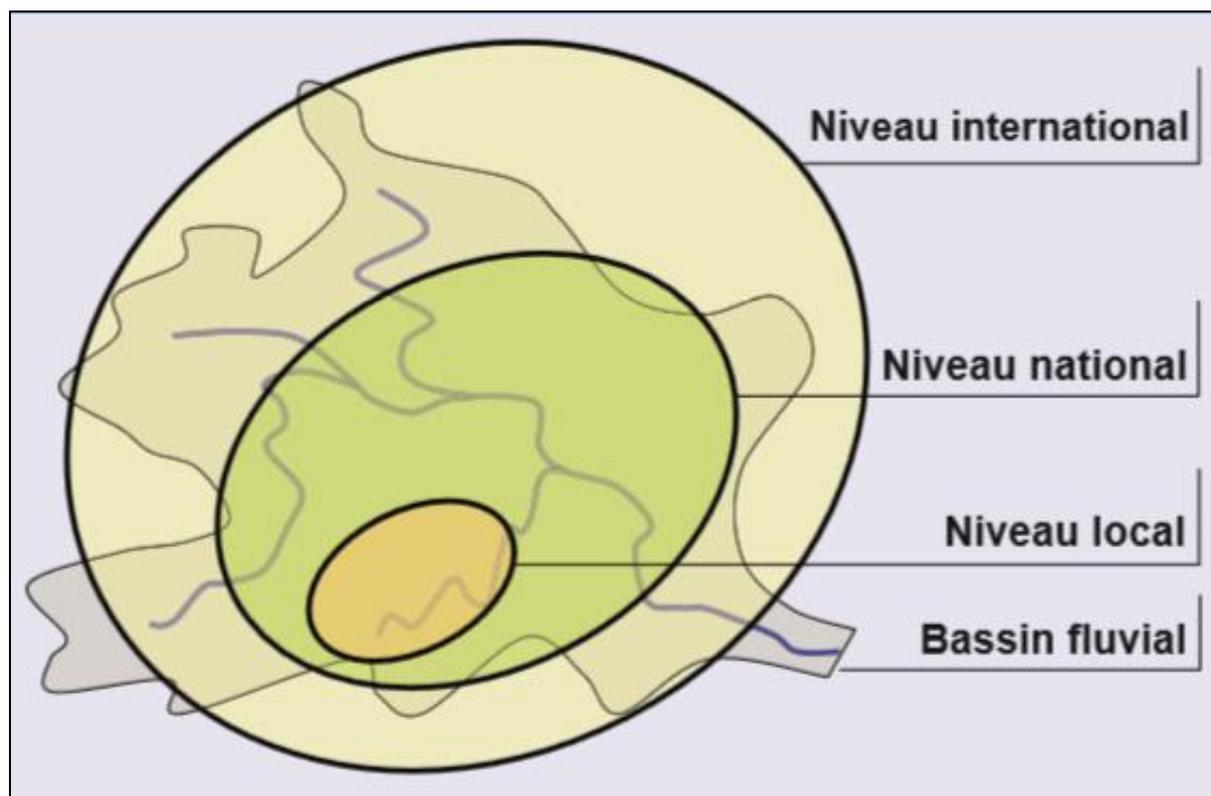


Figure I.3 Différents niveaux de la gouvernance de l'eau (ICLEI 2008a)

I-2-4-1 Niveau administratif de la gestion

a- niveau international

Dans la plupart des pays, les institutions supranationales jouent un rôle important dans le développement de cadres pour les ressources en eau à travers des accords passés entre les états membres. Par exemple, de tels accords peuvent stipuler les normes de qualité de l'eau, lancer des programmes de gestion des crues à grande échelle et empêcher le développement d'une infrastructure qui pourrait avoir un effet négatif sur les usagers en aval (ICLEI 2008a).

b-Niveau national

Récemment, de nombreux pays ont amélioré leur gouvernance de l'eau au niveau national, ce qui leur a permis de mettre les principes de la GIRE en œuvre. Ceci a été atteint en adoptant de nouvelles politiques de grande envergure, révisant les lois sur l'eau, et en établissant des institutions nouvelles pour la gestion des ressources en eau (ICLEI 2008a).

c- Niveau local

Ce niveau concerne la zone relevant de la juridiction des gouvernements locaux. Les autorités nationales sont en général globalement responsables de la gestion des ressources en eau d'un pays et de l'infrastructure à grande échelle, constituée par les barrages et les systèmes de transfert de l'eau (ICLEI 2008a).

Le système de gouvernement local fonctionne à l'intérieur des cadres établis au niveau national et sous national. Selon le niveau de décentralisation, les gouvernements locaux ont une certaine flexibilité à l'intérieur de ces cadres pour créer des règlements municipaux et des politiques. Il peuvent également faire usage de leurs compétences au niveau local pour étendre la participation à la prise de décision à une gamme plus vaste de parties prenantes représentant les usagers de l'eau locaux et d'autres acteurs intéressés par l'eau, tels que agriculteurs, propriétaires d'usine, pêcheurs, hommes et femmes d'affaires, représentants d'organismes communaux, etc. (ICLEI 2008a).

I-2-4-2 Niveaux hydrologiques de la gouvernance

a- Le niveau des bassins fluviaux

De nombreux bassins fluviaux couvrent plusieurs pays et de nombreuses administrations locales. Les limites des bassins fluviaux ne suivent que très rarement les limites administratives observées par les gouvernements locaux et nationaux; par conséquent, la gestion des bassins en entier doit se faire par delà les frontières. Les intérêts de chaque gouvernement national partageant le bassin sont représentés dans ces commissions, qui traitent des problèmes haut niveau du développement des bassins fluviaux de façon à améliorer la gestion des ressources naturelles qui concernent le bassin en entier (ICLEI 2008a).

En général, les commissions de bassins fluviaux limitent leurs activités à l'établissement des buts globaux de développement, mais elles peuvent aussi s'engager dans des négociations concernant les allocations d'eau entre pays. A cet égard, elles établissent des limites importantes à l'intérieur desquelles les acteurs locaux et nationaux doivent ensuite manœuvrer (ICLEI 2008a).

b- Le niveau des (sous) bassins versants

On coordonne la planification, l'allocation et la gestion des ressources en eau de la façon la plus efficace au niveau des bassins versants. Un (sous) bassin versant concerne une partie d'un bassin hydrographique plus étendu, et c'est le niveau qui demande et reçoit le plus de compétences concernant la gestion des ressources en eau dans un nombre grandissant de pays de la région.

I-2-5 Approche à deux voix de la GIRE

Les gestionnaires peuvent, toutefois, aller plus loin et étendre leurs efforts en adoptant ainsi l'approche à deux voix vis-à-vis de la GIRE; l'extension de la GIRE peut se faire dans deux directions horizontalement et verticalement ; la figure N°I-4 montre ce processus (Hamlat 2013).

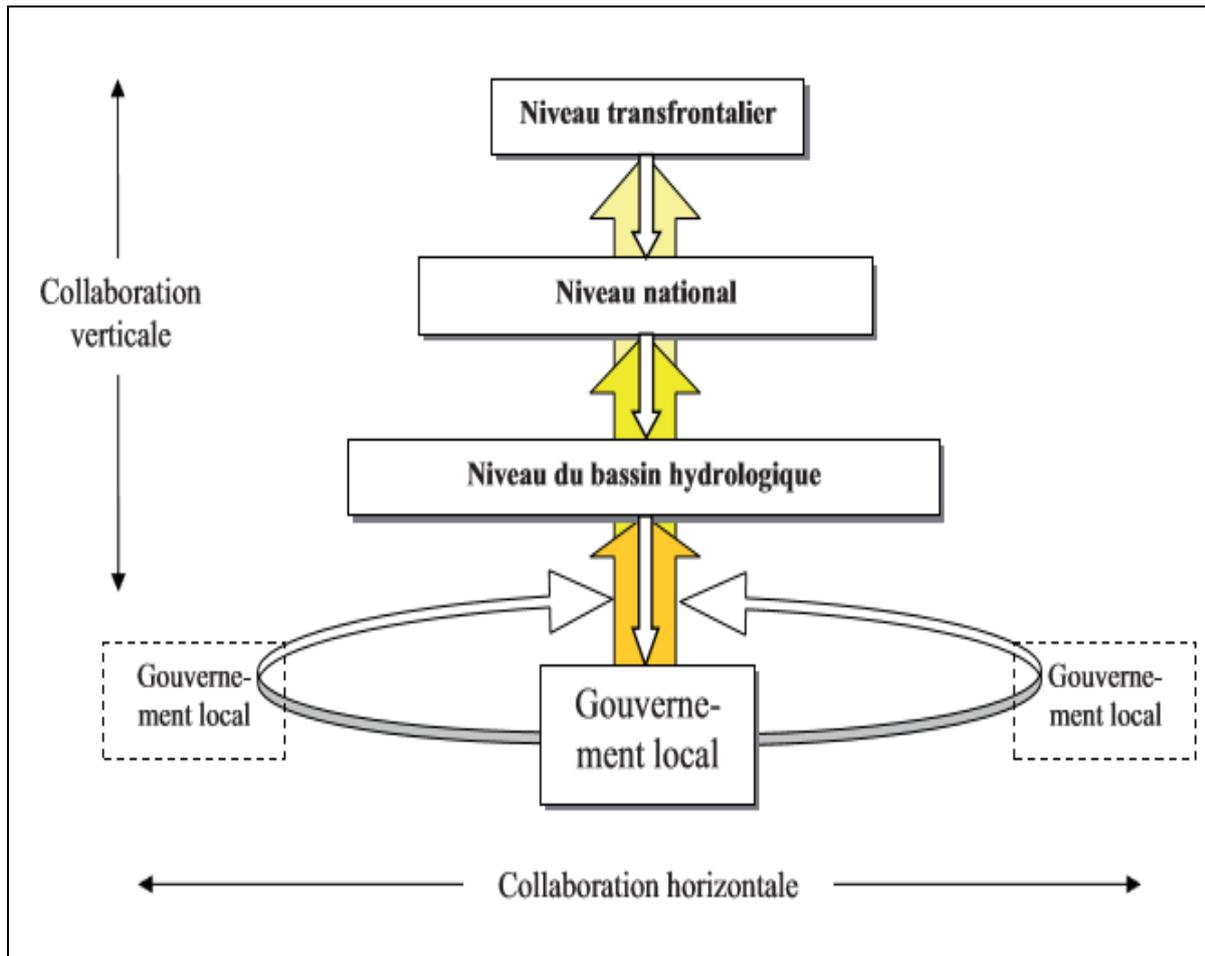


Figure I.4 l'approche à deux voies de la GIRE (ICLEI 2008 b)

I-2-5-1 Collaboration horizontale

Coordination et collaboration entre différents secteurs locaux.

La collaboration ne devrait pas se limiter au dialogue entre les seuls gouvernements locaux ; elle devrait inclure aussi d'autres usagers d'eau dans le bassin qui ont un intérêt dans la gestion des ressources en eau locales. Une telle approche participative bénéficie de la large gamme de connaissances qui existe en matière de ressources en eau en dehors du gouvernement local et permet l'identification de questions et besoins n'intéressant pas seulement quelques privilégiés. La collaboration offre également la possibilité de résoudre rationnellement les conflits pouvant surgir au sujet de la concurrence pour l'accès aux ressources en eau et pour leur utilisation. La collaboration est le moyen le plus efficace de négocier des compromis commerciaux et de dégager un consensus sur les questions en jeu. (ICLEI 2008 b)

I-2-5-2 Collaboration verticale

Collaboration avec des échelons supérieurs des autorités telles que les agences du bassin hydrologique, le gouvernement national et des institutions transfrontalières idéalement, la collaboration verticale est menée à partir d'une base de coordination horizontale entre plusieurs secteurs locaux. Cela garantit les intérêts et questions communs sont communiqués verticalement et ont plus de chances d'influencer la gestion et les politiques aux niveaux supérieurs (Hamlat 2013).

I-2-6 Analyse critique des études antérieures

Pour une adaptation continue des infrastructures projetées aux nouvelles données sur la demande et les ressources en eau, il est indispensable d'actualiser les études et de disposer des outils de planification dynamique. C'est l'objectif de la présente étude.

Dans le secteur de la gestion des ressources en eau, plusieurs études de planification des aménagements hydrauliques ont été réalisées dans la région d'étude PNE 1993, PNE 1998, PNE 2006 (MEAT 1998); (MRE 2009).

C'est au vu de ces quelques constats que l'état algérien a commencé à élaborer, dès 1993, les bases de ce qu'il a été convenu d'appeler la Nouvelle Politique de l'Eau. Cette politique s'articule autour de quatre grands principes :

- L'eau est un bien économique: On doit donc au moins s'attacher à déterminer le coût réel de l'eau distribuée. Cette notion de l'eau, bien économique ne peut exister sans des entreprises de gestion de l'eau, soumises aux principes de la vraie gestion commerciale et de la concurrence, dans le cadre de contrats passés avec les maîtres d'ouvrages et les collectivités locales (A. Larbi 2012).
- L'eau est rare et vulnérable : à ce titre, elle doit faire l'objet d'une protection quantitative et qualitative.
- La gestion de l'eau doit être assurée de façon intégrée, à l'échelle d'une unité naturelle qu'est le bassin hydrographique. On doit donc à la fois mettre en place les instruments de cette gestion par bassin, mais aussi l'ensemble des outils réglementaires, nécessaires pour assurer la protection quantitative et qualitative des ressources en protégeant au mieux les écosystèmes.
- L'eau est l'affaire de tous. Il faut donc apprendre à développer la concertation, pour que les décisions prises ne soient plus le fait d'un décideur autoritaire et unique, mais plutôt celui d'un consensus autour d'objectifs discutés puis arrêtés d'un commun accord.

Depuis 1993, donc, l'Etat a engagé une vaste campagne de sensibilisation et de concertation avec l'ensemble des partenaires (Agriculture, Industrie, Collectivités Locales, Universités, Associations d'usagers, Associations de protection de l'environnement, etc....).

Ceci a abouti, fin 1995, à la tenue d'Assises Nationales de l'Eau, au cours desquelles ont été adoptés les principes, évoqués plus haut, de Nouvelle Politique de l'Eau. L'idée d'un amendement au Code de l'Eau, promulgué en 1983, a été retenue, de même que celle de la création de structures régionales, chargées de promouvoir la gestion intégrée de l'eau à l'échelle des grands bassins hydrographiques.

Dès Juin 1996, le Code de l'Eau est modifié, introduisant notamment la possibilité, pour le maître d'ouvrages de concéder leurs installations d'eau potable ou d'assainissement à des opérateurs privés. Fin Août 1996, cinq Agences de Bassins Hydrographiques et cinq Comités de Bassin sont créés, couvrant la totalité du territoire national.

En août 2005, l'état promulgue la loi relative à l'eau, cette dernière a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

Au niveau des unités hydrographiques naturelles, la gestion intégrée des ressources en eau est exercée par une agence de bassin hydrographique, dont les principales missions sont :

- Elaboration et actualisation du cadastre hydraulique,
- Sensibilisation à l'économie de l'eau et à la lutte contre la pollution,
- Elaboration des schémas directeurs d'aménagement régionaux

D'après le journal officiel, Le décret exécutif n° 10-24 du 12 janvier 2010 fixe le cadre de concertation en matière de gestion intégrée des ressources en eau au niveau des unités hydrographiques naturelles. Un comité du bassin hydrographique créé au niveau de chaque unité hydrographique naturelle qui a pour missions d'examiner :

- Le projet de plan directeur d'aménagement des ressources en eau dont l'examen donne lieu à l'établissement d'un rapport particulier adressé au ministre chargé des ressources en eau ;
- Les plans de gestion des ressources en eau mobilisées et en particulier ceux en situation de déficit d'apports naturels nécessitant des arbitrages d'affectation entre les différents usages ;
- Les programmes d'activités en matière de protection quantitative et qualitative des ressources en eau ;
- Les programmes initiés en matière d'information et de sensibilisation des usagers de l'eau ;
- Toutes autres questions se rapportant à l'aménagement et à la gestion des ressources en eau qui lui sont soumises par les walis territorialement compétents, par le président du comité et par le directeur général de l'agence du bassin hydrographique.

En juillet 2011, l'état promulgue une loi portant sur la création d'une agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau « AGIRE ».

Dans le cadre de la politique nationale de développement, l'agence nationale est chargée de réaliser, au niveau national, toutes actions concourant à une gestion intégrée des ressources en eau. A ce titre, l'agence nationale a pour missions :

- De réaliser toutes enquêtes, études et recherches liées au développement de la gestion intégrée des ressources en eau ;
- De développer et coordonner le système de gestion intégrée de l'information sur l'eau à l'échelle nationale ;
- De contribuer à l'élaboration, à l'évaluation et à l'actualisation des plans à moyen et long terme de développement sectoriel à l'échelle nationale ;
- De contribuer à la gestion des actions d'incitation à l'économie de l'eau et à la préservation de la qualité des ressources en eau.

Outre ces missions d'envergure nationale, les démembrements territoriaux de l'agence nationale sont chargés au niveau des bassins hydrographiques :

- De gérer le système d'information à l'échelle des bassins hydrographiques à travers l'établissement et l'actualisation des bases de données et des outils d'information géographique ;
 - De contribuer à l'élaboration, à l'évaluation et à l'actualisation des plans à moyen et long terme de développement sectoriel à l'échelle des bassins hydrographiques ;
- de collecter les redevances instituées par la législation et la réglementation en vigueur.

Conclusion

Il ressort des considérations du premier chapitre que la gestion intégrée des ressources en eau constitue l'une des stratégies les plus efficaces pour le développement du secteur hydraulique, cependant, elle exige une bonne coordination des activités des sous-secteurs de l'eau qui permet de faire efficacement face à la question interdépendante, notamment les problèmes d'environnement et de santé d'origine hydrique.

La mise en place d'une politique de l'eau basée sur la gestion intégrée des ressources en eau servira de trame pour l'amélioration du secteur de l'eau en Algérie.

CHAPITRE II :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La gestion de l'eau représente l'un des concepts parmi les plus multiformes à avoir été utilisé en science ou en gestion que ce soit du point de vue conceptuel ou appliqué. Plusieurs auteurs ont tenté de définir plus précisément le sens réel des différentes terminologies liées aux approches de gestion de l'eau, il existe des nuances entre toutes ces approches, bien que la plupart réfèrent à un mode de gestion souvent très comparable en pratique (Downs et al.1991, Dupont et al 1998, Charreton et al 2006, Dembele 2007, Baechler L 2012). Dans d'autres cas, la description des approches de gestion est si variable que l'on peut aisément lui associer plusieurs définitions. Indépendamment de leurs caractéristiques propres, ces différentes descriptions de la gestion sous-entendent toutes qu'une véritable gestion de l'eau passe par l'intégration d'un ensemble important de facteurs très variés (utilisation du sol, facteurs socio-économiques, pédologie, types de végétation, facteurs biophysiques, etc.)

II-1 - Les modèles et outils d'aide à la décision dans la gestion des ressources en eau :

II-1-1 Outil d'aide à la décision dans la gestion des ressources en eau

II-1-1-1 Introduction

Les recherches sur les systèmes d'aide à la décision (SAD) ou Décision Support Systems (DSS) en anglais. Cette revue a été menée de nombreuses références, ce qui présente le double avantage de disposer des résultats les plus récents dans le domaine.

II-1-1-2- Définition

Cette appellation recouvre des réalités très différentes selon les auteurs et/ou les disciplines ; actuellement. On peut même parler d'un effet de « mode » qui entraîne l'utilisation du terme SAD ou DSS pour tout et n'importe quoi (BRGM 2000, Bouznad 2016 et Nouri 2016).

Ainsi, dans le domaine des hydro systèmes. ce terme peut être utilisé pour désigner un modèle numérique des écoulements, un Système d'Information Géographique (SIG) associé à un logiciel d'analyses multicritères et/ou à une base de données relationnelles (BRGM 2000).

II-1-1-3- Outils d'aide à la décision

Il existe plusieurs outils numériques d'aide à la prise de décision qui 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) et les systèmes experts (SE) qui peuvent être utilisés pour traiter l'information et simuler des scénarios particuliers. De l'autre côté, on retrouve les systèmes d'aide à la décision (SAD) qui peuvent intégrer un ou plusieurs de ces outils numériques, qui sont plus spécifiquement orientés que les premiers pour aider le décideur dans la gestion des ressources en eau. (Dupont et al. 1998).

Les modèles d'aide à la décision exploitent les données fournies par les systèmes d'information.

Les SIG intègrent et analysent des ensembles de données et présentent les résultats dans l'espace.

Les DSS examinent plusieurs scénarios et présentent l'impact des changements de paramètres. Ces outils peuvent être utilisés par une ou plusieurs personnes simultanément, au bureau, au cours d'ateliers ou même chez soi, lorsqu'ils sont accessibles sur internet pour permettre des simulations. Ces outils ont également l'avantage de promouvoir la transparence. (GWP 2009)

II-1-1-3-1-Modèles mathématiques

Les modèles mathématiques en sciences environnementales existent depuis plusieurs 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 de coûts, les risques pour la santé humaine, etc. Ils viennent sous différentes formes allant du modèle très simple au modèle très complexe et du modèle empirique au modèle mécaniste. Les modèles peuvent être utilisés pour simuler des phénomènes observés, pour prévoir ou prédire un état futur ou simuler des scénarios de planification ou d'intervention. Ces outils numériques sont souvent bien adaptés pour la gestion opérationnelle des interventions, la compréhension des processus à l'œuvre et prévoir divers impacts environnementaux et socio-économiques (Dupont et *al.* 1998).

Les outils de modélisation permettent d'intégrer des données sociales, économiques et biophysiques – généralement dans un système d'information géographique – et de présenter les options de gestion. Les groupes d'utilisateurs – gestionnaires de bassin, élus locaux, industriels, exploitants agricoles, gestionnaires d'entreprises agroalimentaires, associations d'usagers de l'eau, responsables des agences publiques, comités locaux, planificateurs publics peuvent interroger les modèles afin de connaître les répercussions potentielles de différentes options de gestion de l'eau, en sélectionnant et cliquant simplement sur une carte (GWP 2009).

Les modèles peuvent illustrer d'importants concepts, par exemple, le fait que le rétablissement des aquifères ou lacs pollués est un processus long et qu'il vaut par conséquent bien mieux prévenir que guérir. Les modèles permettent également d'indiquer des solutions. Par exemple, les modèles de gestion peuvent montrer que la qualité de l'eau revêt une plus grande importance dans certaines parties d'un bassin que dans d'autres. Les gestionnaires de bassin peuvent conclure, sur la base de ces modèles, que les usagers seraient peut-être plus disposés à contribuer financièrement à la gestion de la qualité de l'eau – ou à changer la façon dont ils gèrent l'eau – dans les zones où la qualité de l'eau est importante, plutôt que dans les autres zones. (GWP 2009) Il est également possible d'examiner certains problèmes au moyen de modèles d'optimisation et de simulation. L'optimisation simplifie les problèmes, par exemple, en agrégeant les descriptions spatiales d'un problème particulier. Les modèles de simulation peuvent ensuite être utilisés pour produire des scénarios dynamiques par exemple. Cependant, de tels modèles ne sont que des outils visant à faciliter et non à remplacer les dialogues entre décideurs. (GWP 2009)

II-1-3- 2- Systèmes d'informations géographiques (SIG)

Les systèmes d'informations géographiques sont largement utilisés dans les pays développés afin d'organiser les données géographiques du bassin – ils constituent en d'autres termes des atlas électroniques.

La plupart des systèmes permettent aux utilisateurs de faire des recherches, par exemple, en fonction du type de sol, de l'utilisation des sols, de l'option de gestion, du modèle d'habitat, du type de propriété foncière ou des zones d'aménagement. Ils sont généralement faciles à utiliser, accessibles sur Internet et incluent différents types de technologies de visualisation permettant d'afficher les résultats des modèles de simulation. (GWP 2009)

L'utilité des SIG s'est accrue au fil des ans pour devenir essentiel dans la gestion des données à référence spatiale et l'aménagement du territoire. Ces outils numériques sont très utiles pour intégrer des informations ponctuelles, vectorielles et matricielles d'origines diverses. Les SIG sont des outils de gestion et d'analyse de données géographiques spatiales. Les noms les plus connus sont : ARCInfo, ARCView, SPANS, CARIS, GENAMAP, GRASS, INTERGRAPH, GRASSLAND, TNTMips, MapInfo, Idrisi. Ce sont en fait des outils de CAO (conception assistée par ordinateur) spécifiquement orientés vers les travaux d'analyse spatiale. (Dupont et al.1998)

II-1-1-3- 3-Systèmes experts

Les systèmes experts faisant appel au concept d'intelligence artificielle ont vu le jour un peu plus récemment que les SIG ou les modèles. Peu d'outils de ce genre sont actuellement opérationnels. Ces outils numériques se basent sur la logique floue ou sur des règles de décision pour constituer une base de connaissances permettant au système de fournir un résultat issu de l'intégration d'informations complexes et d'origines multiples. Un des buts recherchés par les systèmes experts est de simuler l'expertise d'un ou des experts d'un domaine spécifique. Ce sont de puissants outils de diagnostic à utiliser surtout dans le cadre de thématiques très ciblées axées sur l'intervention et l'opération. Parmi les systèmes experts utilisés pour l'aide à la gestion ou à la modélisation des ressources en eau, on peut noter entre autres le module Système Expert du logiciel RAISON (Lam et Swayne, 1996), ainsi que ceux décrits par (Wilde. 1994), (Walker et al. 1995), (Reynolds et al. 1996) et (Dupont et al 1998).

II-1-1-3- 4-Systèmes d'aide à la prise de décision

Les systèmes d'aide à la décision (SAD) constituent une évolution récente des outils numériques. Ces SAD peuvent combiner plusieurs et parfois toutes les catégories d'outils numériques présentés précédemment, ils offrent dans certains cas des possibilités de visualisation et de scénarios. Ils peuvent être très complexes au plan de l'utilisation, mais s'avèrent néanmoins très utiles au décideur. Liu (1995) note que le terme « environnement de support à la décision (Décision support environment) » fait référence à un ensemble de logiciels informatiques qui permet aux utilisateurs de partager la connaissance, l'information et les données afin de mieux comprendre un problème décisionnel et ainsi améliorer la prise de décision. Orlob (1992) note que le concept de support à la décision est plus vaste que la simple capacité de simulation que l'on retrouve en général dans les modèles mathématiques. Le concept doit fournir les moyens nécessaires pour rendre le support des SAD accessible et désirable pour les décideurs. Les SAD sont très bien adaptés aux thématiques faisant intervenir le concept de gestion intégrée par bassin où des facteurs environnementaux et humains très variés peuvent avoir de multiples incidences sur la ressource en eau.

Il existe encore peu de ce genre d'outils numériques, mais leur développement est en pleine effervescence (Dupont et al.1998).

Il existe deux grandes classes de SAD : les systèmes d'information environnementale (SIE) et les systèmes de modélisation intégrée (SMI). Les SIE sont généralement construits à partir d'une coquille SIG et fournissent à l'utilisateur la possibilité d'effectuer des opérations de base de données, de traitement de données et d'analyse spatiale. Ils se distinguent des SIG par les capacités additionnelles de traitement de l'information. Par exemple, le système RAISON (Lam et Swayne, 1996) intègre certaines fonctionnalités traditionnelles du SIG, mais en lui rattachant d'autres comme des fonctions statistiques et graphiques, un système expert à base de règles, un tableur et un logiciel de gestion de base de données multimédias, ainsi que la possibilité de lier des applications externes (modèles ou logiciels) (Dupont et *al.* 1998).

Les systèmes de modélisation intégrée (SMI) peuvent simuler l'ensemble des processus physiques, chimiques et parfois socio-économiques sur un bassin versant. Dans la plupart des cas, ces systèmes intègrent des fonctions SIG et un système de gestion de bases de données. Les plus évolués possèdent une interface-usager très conviviale, permettant l'évaluation de scénarios et offrant des fonctions de visualisation avancées. La plupart des SMI sont toutefois constitués d'une boîte à outils plus ou moins intégrée, (Kopp 1996) fournit une excellente description des niveaux d'intégration possibles dans les SMI. Les systèmes GIBSI (Mailhot et *al.* 1997) et WaterWare (Jamieson et Fedra, 1996) sont probablement les SMI parmi les mieux intégrés. D'ailleurs, GIBSI a été conçu pour faciliter au maximum l'utilisation par les décideurs alors que WaterWare est surtout destiné aux spécialistes qui l'utiliseront à des fins de support à la gestion (Dupont et *al.* 1998).

II-1-1-3-5- Les étapes de l'établissement d'un SAD

a- Collecte de données: après avoir défini l'objectif, la portée et les attentes du projet, le décideur est amené à collecter les données nécessaires, il s'agit de deux types de données : spatiales et physiques. Les données spatiales géolocalisent les différentes entités du système (sites de demande, nappes, rivières, barrages...). Or, les données physiques représentent les caractéristiques de ces entités (le niveau d'activité annuel d'un site de demande, volume mobilisable d'une nappe, débit mensuel d'une rivière,...).

b- Analyse : cette étape consiste à analyser les contraintes de la demande en eaux, tout en identifiant les secteurs exerçant une pression sur les ressources, ainsi que les attributs de ces secteurs (Exemple, pour la demande domestique: on distingue un certain nombre de personnes avec une dotation journalière; pour le secteur agricole: une superficie attribuée à une consommation annuelle,...).

c- Conception: à ce niveau, le décideur est amené à proposer un modèle décrivant le déroulement fonctionnel du système hydrique, en terme de la dualité « Demande-Ressource », et cerner toutes les contraintes analogiques entre ce modèle et la réalité. On pourrait en outre élaborer des scénarios et des hypothèses, afin d'étudier l'impact d'un risque naturel, une évolution démographique, ou une action industrielle sur les ressources en eaux.

d- Implémentation: après avoir finalisé le modèle, il serait possible de l'exécuter sur la plateforme, et passer à l'édition des résultats obtenus pour chacun des scénarios et hypothèses élaborés.

e- Post-Analyse: cette étape consiste à refaire l'analyse sectorielle et attributaire pour les résultats comme pour les données, afin de définir une matrice des alertes sur les différents aspects étudiés.

f- Prise de Décision: à la lumière des alertes analysées, le décideur pourrait proposer certaines mesures en collaboration avec les différents acteurs de gestion, et étudier ainsi la possibilité de leur mise en place dans un cadre plus rationnel et moins contraignant.

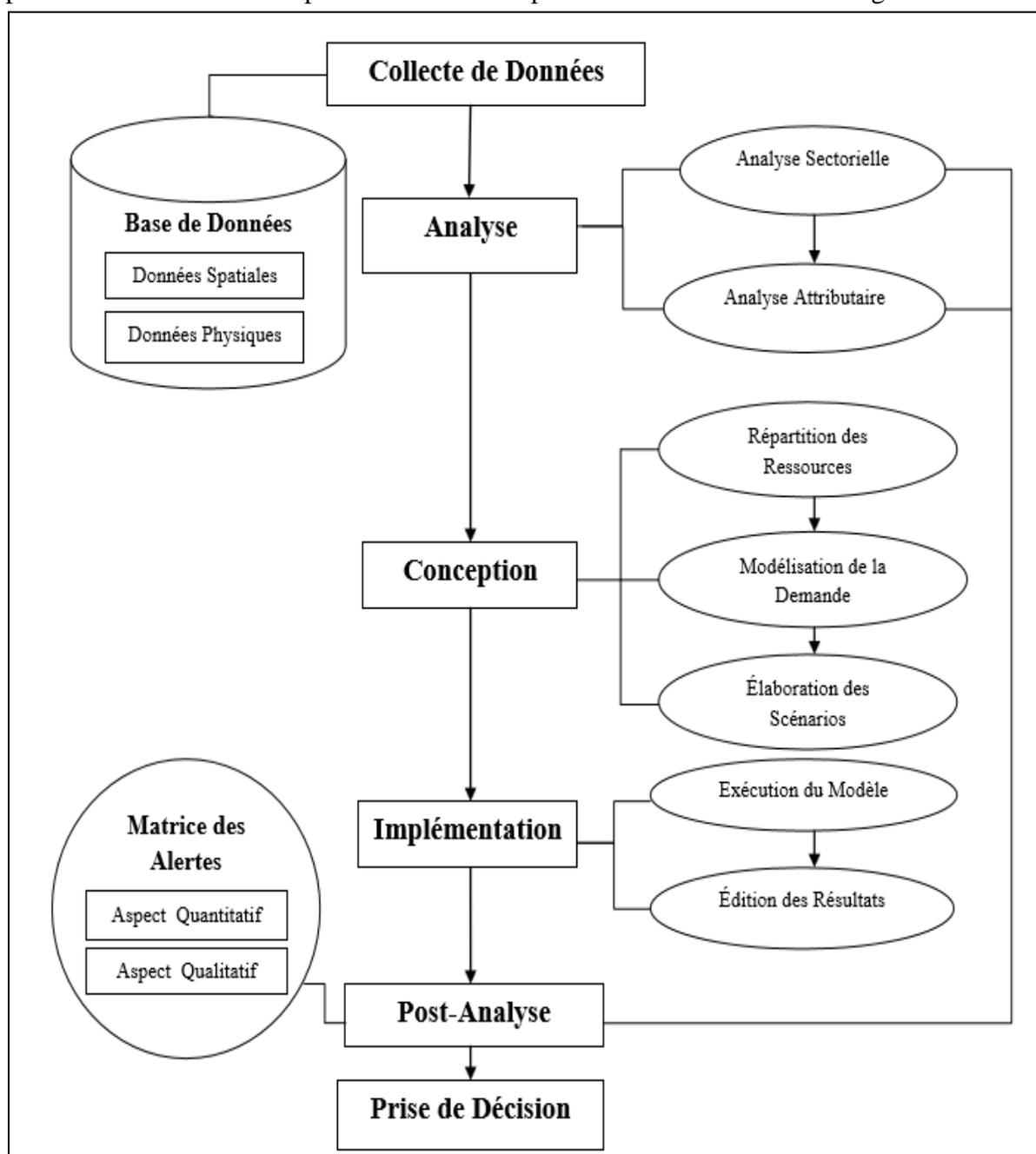


Figure II.1. Etapes de l'établissement d'un SAD (Benseddik et Bouabid 2012)

II-1-2- Les modèles pour la gestion quantitative des ressources en eau

L'intervention du modélisateur doit permettre la mise en place d'une approche holistique permettant à partir de données sur les hydro-systèmes et des outils à même d'éclairer les gestionnaires sur l'impact de leurs décisions et/ou de présenter des alternatives de gestion en fonction d'objectifs prédéfinis (Fabian 2008). Mais plus que l'outil, c'est la démarche de modélisation qui reste importante pour saisir les objectifs des gestionnaires dans les différents domaines (irrigation, AEP, industrie, ...). En effet, les systèmes d'information mis en place sont parfois sous-utilisés, obsolètes, ou encore ne permettent pas l'intégration de nouvelles fonctionnalités.

Ce constat résulte souvent de la démarche adoptée pour mettre en place un tel système, qui est souvent plus orientée vers l'outil que vers les besoins de l'utilisateur (modèles trop complexes, absence d'interface graphique facilitant l'utilisation, etc.) (Fabian 2008).

Pour la science ou à des fins opérationnelles, les modèles permettent une meilleure compréhension du comportement des hydro-systèmes. A l'inverse, dans le contexte de la technologie, les modèles sont utilisées pour leurs capacités à d'aider les utilisateurs ou les gestionnaires à évaluer divers scénarios de gestion (Fabian 2008). L'objectif de la science peut être défini comme l'amélioration ou la croissance continue de la connaissance en formulant les généralisations qui régissent son comportement (Dooge, 1986; Klemes, 1988; Chalmers, 1991, Fabian 2008). Les scientifiques doivent donc mener une stratégie qui exige de réaliser conjointement : (1) la proposition d'hypothèses et de théories, et (2) la réalisation d'expérimentations planifiées (Nascimento, 1995). En Sciences de l'Eau, les objectifs sont de chercher les meilleures solutions à l'équation du bilan de l'eau : sa dynamique et la complexité des forces mises en jeu (Dooge, 1988), ses aspects quantitatifs et qualitatifs, dans le temps et dans l'espace, la métamorphose d'un état à l'autre, la complexité structurelle des environnements pour le cheminement de l'eau (Klemes, 1988). Selon Bunge (1961), l'utilisation des modèles à des fins opérationnelles permet de contrôler ou gérer des processus, qu'ils soient naturels ou sociaux.

Il affirme qu'en technologie, on utilise un concept opportuniste de la vérité. On recherche un niveau de description ou d'explication de la réalité juste suffisant pour rendre compte des objectifs technologiques.

Des critères différents du contenu de la vérité des théories scientifiques doivent être considérés, tels que le rapport efficacité/complexité, des critères économiques, des critères liés à la précision et aux risques technologiques de différentes natures, entre autres.

En extrapolant cette réflexion, on pourrait affirmer que si un modèle fonctionne avec une bonne exactitude, sans que nous comprenions pourquoi, il n'y a aucune raison de renoncer à s'en servir (Thom, 1979).

Dans le contexte de la technologie, le critère universel permettant d'évaluer les mérites relatifs des modèles est donc de résoudre des problèmes. Toutefois, certains gestionnaires cherchent aussi, comme dans le contexte scientifique, à savoir comment fonctionne l'hydrosystème à gérer (Piquereau et Villocel, 1982; Trouvat, 1991; Hurand, 2003; EPTB Charente, 2004) et affirment qu'il ne suffit pas que le modèle marche bien, il faut encore qu'il marche pour de bonnes raisons.

II-1-2-1 Utilité d'un modèle pour la gestion des ressources en eau

Selon Viessman 1989, l'utilité des modèles pour la gestion quantitative des ressources en eau découle de leur capacité de simulation (Fabian, 2008). La simulation concerne le calcul de la réponse d'un hydro-système à une série d'évènements (variables de forçages, variables de décision ou perturbations), pendant un intervalle de temps préalablement établi. La gestion du système S comprend 3 actions : prévoir, agir et contrôler (Fabian 2008). Les décisions, comme les lâchers de barrages, les restrictions (action agir) sont prises en comparant les sorties d'intérêts y et les indicateurs d'état des ressources en eau (partie haute de la Figure II.2). De la même manière, l'utilisation du modèle doit comparer des sorties objectifs à des mesures afin d'évaluer si le modèle est assimilable au système. Ils doivent être exprimés de façon précise sous forme de critères mesurés par des chiffres (Valiron, 1988), comme un coût, un volume ou un paramètre de qualité (e_s dans la partie centrale de la Figure II.2). Pour que le modèle M puisse être utilisé afin de gérer le système S, le critère e_s , différence entre les sorties modélisée y_m et mesurée y , doit être minimisée. Les gestionnaires peuvent, à partir du modèle M, évaluer divers scénarios et prendre des décisions sur les actions à entreprendre sur l'hydrosystème (Fabian 2008). L'avantage le plus important du modèle est de pouvoir simuler des variables qui ne sont pas mesurées sur le système (Hamlat 2013).

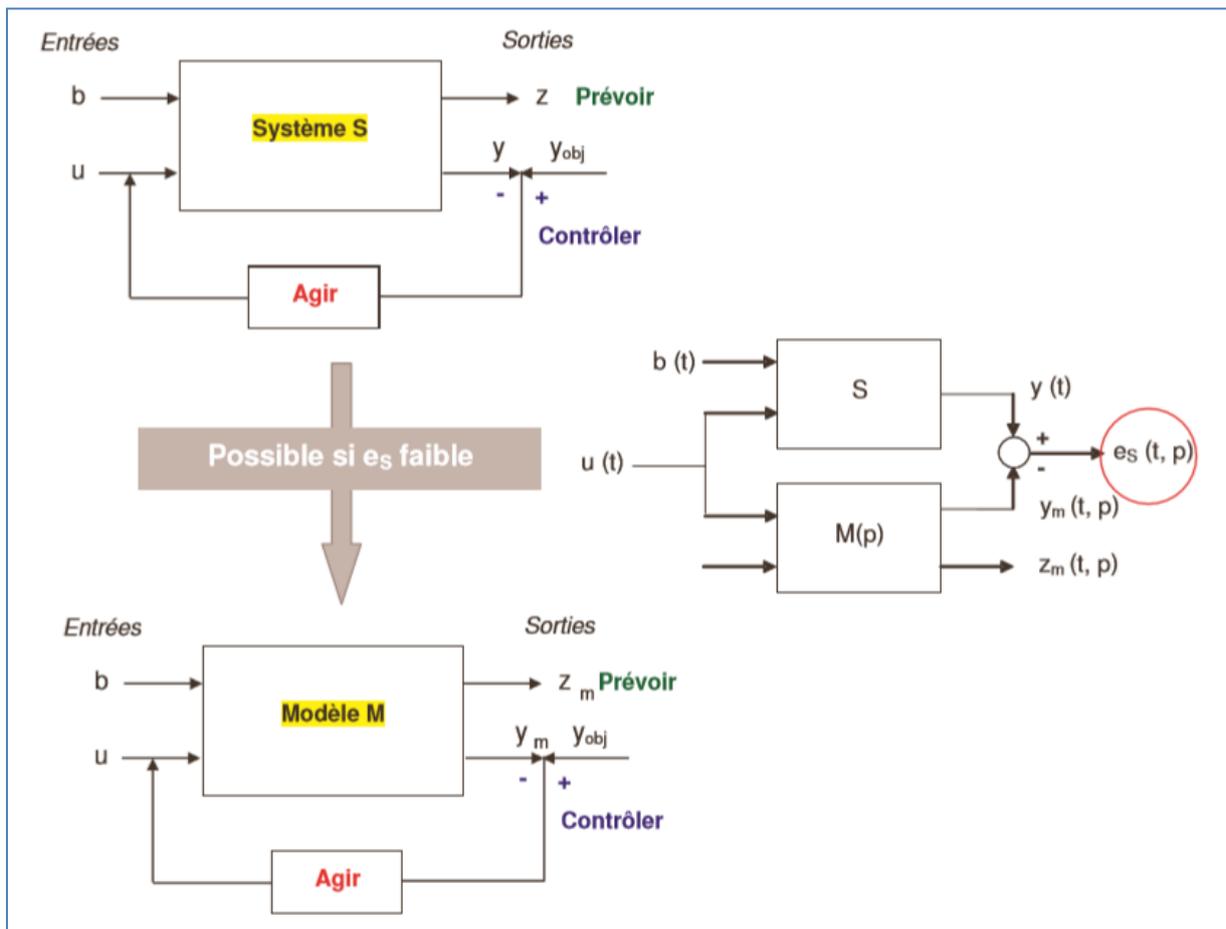


Figure II.2 Modalités d'utilisation d'un modèle pour la gestion (Fabian 2008)

Les problèmes typiques de la gestion quantitative des ressources en eau auxquels les modèles peuvent donner des réponses satisfaisantes sont :

L'extension de séries chronologiques:

Pour Fabian 2008, lorsque les séries chronologiques sont trop courtes pour permettre un traitement statistique des données ou lorsque des données sont manquantes, les modèles peuvent générer de longues séries de données, notamment de débits, nécessaires à certaines méthodes de calcul de structures hydrauliques (Valiron, 1988), et à l'analyse de risque, par exemple. L'évaluation des ressources en eau pour différentes applications (irrigation, approvisionnement en eau, énergie, ...) est aussi possible (Hurand, 2003),

Le diagnostic: Les modèles peuvent être utilisés pour aider les gestionnaire à faire le diagnostic du fonctionnement d'une structure hydraulique de contrôle ou d'un aménagement, de l'efficacité des règles de gestion d'un aménagement (Bader et al., 2003), ainsi que pour évaluer la pertinence de critères d'efficacité de différents types d'aménagement, ou tout autres études de diagnostic (Kholghi, 1997 ; Pouget et Cudennec, 2003).

L'évaluation d'alternatives: L'intérêt des modèles concerne la possibilité de simulation de différentes alternatives de gestion à un problème particulier (Fabian 2008). Par exemple, le choix entre plusieurs techniques alternatives d'assainissement ou l'évaluation de la combinaison la plus efficace de ces techniques, la décision entre la construction d'un nouveau barrage ou le changement de système d'irrigation (Loubier et al., 2008b), en adoptant des techniques plus économes par rapport à la demande en eau, l'option entre différentes solutions structurelles ou non structurelles pour la protection des crues.

La prévision: La prévision des débits, surtout, mais aussi d'autres variables hydrologiques, telles que les variables d'état d'humidité du sol, ouvre aux modèles hydrologiques un champ important d'applications (Fortin et al., 1997) : évaluation des ressources en eau ou prévision de la demande pour la gestion des systèmes d'irrigation (Coulibaly et al., 1999 ; Perrin et al., 2001), gestion d'un système de protection des crues (Mathevet, 2005). Toutefois, l'efficacité des modèles dans le cas des bassins non jaugés, et la prévision des effets anthropiques peut être limitée par un certain nombre de facteurs intrinsèques et extrinsèques aux modèles (Fabian 2008).

II-1-2-2 Modèles dits de « gestion » et dits « d'optimisation »

La simulation et l'optimisation se distinguent par le statut de leurs variables mais surtout par le rôle dévolu au critère de performance en optimisation (Valiron, 1988). Comme nous venons de la voir, un modèle utilisé en simulation est destiné à reproduire des phénomènes ou à prévoir le comportement d'un système soumis à des entrées (perturbations, variables d'entrée et variables de décision). Eventuellement, un ou plusieurs critères de performances peuvent être calculés, mais a posteriori. On peut donc dire que la simulation ignore les objectifs de la gestion (Hubert, 1998).

Elle indique seulement les conséquences d'un choix donné, en répondant à une question que l'on peut formuler comme que se passe-t-il si tel ensemble de décisions est pris ? Dans un modèle utilisé en optimisation au contraire, l'objectif de gestion est primordial. Le critère de performances devient explicitement un critère de choix (fonction objectif). De plus, il devient possible d'imposer des contraintes aux variables (entrées et décisions). L'optimisation permettra donc de rechercher quelles sont les variables de décision permettant d'obtenir la meilleure performance possible du système compte tenu du critère retenu. Les paramètres et les entrées sont alors les données du problème, les sorties et les variables de décision étant inconnues (Hubert, 1998). L'optimisation permet de répondre à une question que l'on peut formuler comme quelles décisions faut-il prendre pour maximiser (ou minimiser) tel ou tel critère de performance ?

L'optimisation semble, a priori, très séduisante pour l'aménagement et la gestion, puisqu'elle permet de déterminer la solution idéale (Duan et al., 1992; Belaine et al., 1999). Son utilisation se heurte cependant à deux difficultés (Hubert, 1998). La première est technique. Selon la forme du problème d'optimisation et les contraintes auxquelles sont soumises les solutions, il peut y avoir une ou plusieurs solutions maximisant la fonction objectif. Dans des problèmes très simples, le problème peut être résolu analytiquement. Néanmoins, dans la plupart des cas réels, il faut envisager une résolution numérique qui peut nécessiter des temps de calcul importants, voire prohibitifs. Tous les algorithmes d'optimisation procèdent en effet par itérations successives à partir d'une solution initiale, chaque itération devant améliorer la valeur de la fonction objectif. La seconde difficulté est beaucoup plus fondamentale, car elle concerne la définition même de la fonction objectif. Idéalement, ce critère devrait rendre compte de tous les aspects économiques, sociaux, écologiques et autres, relatifs à un hydro-système. Mais ces différents aspects sont hétérogènes, ne se mesurent pas dans les mêmes unités, quand ils peuvent se mesurer. Les méthodes classiques d'optimisation ne peuvent prendre en compte qu'une seule fonction objectif. Celle-ci aura donc souvent un caractère réducteur car il y a en général plusieurs points de vue, s'exprimant selon plusieurs critères, relatifs à un même ensemble hydrologique. Ces points de vue peuvent refléter diverses préoccupations d'un même acteur social ou refléter les intérêts, souvent contradictoires, de plusieurs acteurs sociaux. Les méthodes prenant en compte plusieurs objectifs permettent seulement de limiter l'éventail des choix possibles.

Généralement, le gestionnaire recherche la meilleure solution selon son point de vue. Les techniques de simulation lui permettent de la déterminer aisément si le nombre de solutions est limité. Mais si le champ des solutions possibles est très vaste il devient préférable d'utiliser une technique d'optimisation. Ces techniques permettent d'atteindre la meilleure solution par une recherche directe, pour autant que les préférences du gestionnaire puissent se traduire selon une fonction des variables d'état et des variables de décision du système considéré, éventuellement complétée par des contraintes appliquées à ces variables [Objectifs = f(volume barrages, indicateurs, précipitations, etc.)]. Néanmoins, tous les modèles mathématiques ne permettent pas d'appliquer aisément des techniques d'optimisation.

II-1-2-3 Les apports de la prévision en gestion des ressources en eau

Avant tout, il est important de ne pas confondre la prédiction et la prévision. La prévision est définie comme l'estimation des conditions futures pour une période donnée, à partir des observations passées et actuelles (OMM, 1994). Son objectif est donc de fournir les meilleures estimations de ce qui peut arriver en un point donné à une date future précise (Hipel et McLeod, 1994). A l'inverse, la prédiction conduit à l'estimation des conditions futures sans référence à un temps spécifique (Lettenmaier et Wood, 1993).

Selon Fortin (1997), la prévision des débits horaires, journaliers, hebdomadaires et mensuels d'un cours d'eau est une tâche nécessaire pour une gestion efficace des ressources en eaux de surface, et pour permettre une réaction adéquate et rapide face aux situations de crises (inondations, sécheresses, ...) (Fabien 2008).

II-2- Les modèles hydrologiques et de la gestion des ressources en eau:

II-2-1 Introduction

La complexité du système Eau, même à l'échelle d'une unité hydrologique réduite, nécessite donc de faire appel à des méthodes de modélisation adaptées (Laurant 1996).

Les outils d'aide à la décision contribuent à simuler les résultats des différents plans et programmes. Il s'agit généralement mais pas uniquement de systèmes informatisés. Ces outils aident les gestionnaires à prendre des décisions opérationnelles et de gestion courante, mais aussi des décisions stratégiques à long terme. Les systèmes experts peuvent, quand des modèles de décisions complexes sont nécessaires, jouer un rôle important dans la prévision des résultats. Les systèmes experts sont généralement utilisés pour résoudre des problèmes de gestion existants. Toutefois, ils peuvent également être utilisés afin d'élaborer différents scénarios liés aux politiques ou plans de gestion, comme par exemple, pour les secteurs d'irrigation confrontés à une montée des nappes phréatiques, les stratégies de reboisement, ou les options d'occupation des sols dans les bassins d'altitude.(GWP2009)

Il est difficile de choisir un modèle hydrologique par ce qu'il dépend avant tout, des objectifs et des données disponibles.

Une étude à l'échelle d'un pays aussi grand que l'Algérie et les données disponibles nous imposent à faire simple et à chercher un modèle moins exigeant en matière des paramètres d'entrée.

II-2-2- Les différents Modèles pour la gestion des ressources en eau:

II-2-2- 1- AQUATOOL

AQUATOOL est un environnement de développement pour les systèmes d'aide à la décision (DSS) pour la planification et la gestion des bassins versants ou les systèmes de ressources en eau. Comme DSS fournit des ressources pour aider l'analyse de divers problèmes liés à la gestion de l'eau.

En outre, **AQUATOOL** est une ligne de recherche en développement continu, donc en plus des outils d'analyse de la gestion des bassins versants, fournit également d'autres outils qui facilitent le développement de travaux connexes.

il est développé par l'université polytechnique de valencia (UPV) de puis 1982 est utilisé par plusieurs organismes de bassin de l'Espagne (Júcar, Segura, Tajo, ..) et à l'étranger (Argentine, Brésil, Italie, Mexique, Bosnie, Chili, Maroc, Algérie, Équateur, Pérou, etc.) pour l'étude de la gestion des ressources hydrographiques et plus particulièrement la prévision des stress hydriques susceptibles de se produire dans certains cours d'eau des pays. Ce système incorpore des modules destinés à traiter des problèmes spécifiques. Le module ECOGES est, par exemple, destiné à l'évaluation économique et à la mise en place de stratégies économiquement efficaces.

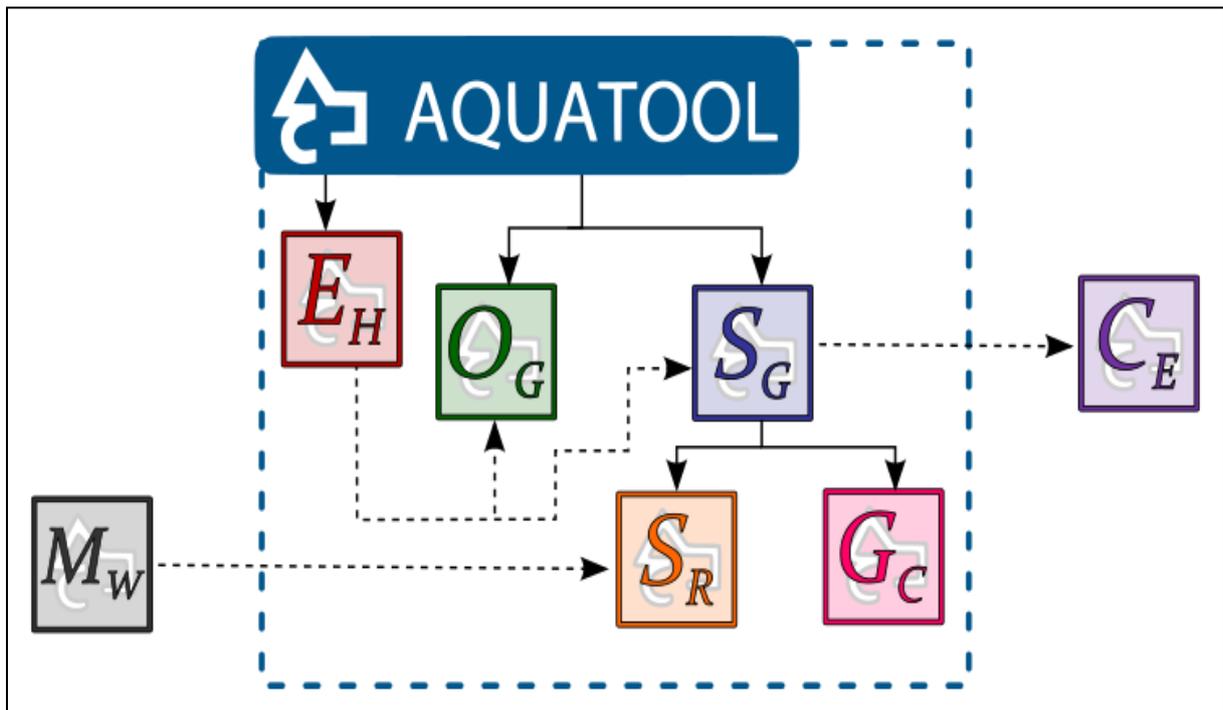


Figure II.3. vue schématique du modèle AQUATOOL

II-2-2- 2- PSO-MODSIM

PSO-MODSIM est un modèle d'optimisation basé sur la simulation, développé pour l'étude multicritère des bassins hydrographiques. Ce modèle jugé très efficace en termes de capacité de stockage des données combine une technique d'optimisation hybride (MODSIM) à un algorithme d'optimisation méta-heuristique (PSO) pour proposer des politiques d'allocation économiquement efficaces ou équitables des ressources en eau (Shourian et al. 2008).

II-2-2- 3- RIVERWARE

RIVERWARE développé pour le US bureau of réclamations et le Tennessee Valley Authority (TVA) est destiné à la gestion et à la planification, à court, moyen ou long terme, de l'utilisation des systèmes hydrographiques (cours d'eau et aquifères) et de leurs composantes (réservoirs, sites de demande, station de pompage et d'épuration etc.). Il utilise les données des modèles de simulation d'un Système d'Information Géographique (SIG) intégré qui lui fournit les renseignements en temps réel.

Le système est conçu autour d'une interface multimédia munie d'accès internet, de cartes géographiques, d'options d'aide hypermédia, d'éléments de schématisation et d'outils d'analyse de séries chronologiques. Le système intègre des modèles d'entrée et de calcul des composantes hydrographiques (pluviométrie, débits, évaporation, flux d'eau souterraine) agricoles (consommation en eau, type de culture, besoins futurs), environnemental (qualité de l'eau, pollution) etc.

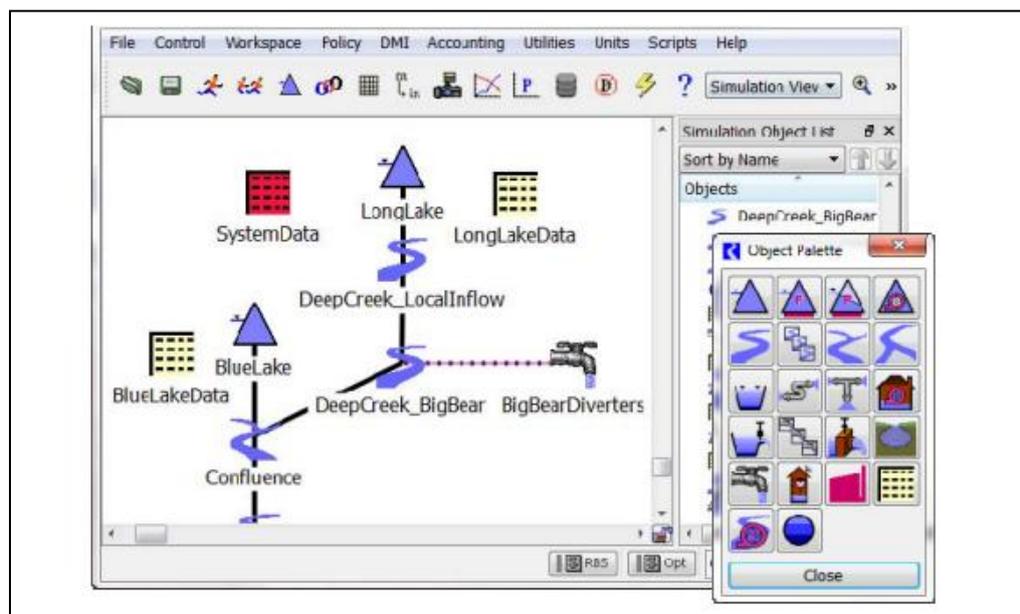


Figure II.4 River Ware Workspace and Object Palette

II-2-2-4-RIBASIM

RIBASIM (Modèle de simulation de bassin hydrographique) est un ensemble de modèles génériques permettant d'analyser le comportement des bassins hydrographiques dans diverses conditions hydrologiques. L'ensemble de modèles est un outil complet et flexible qui relie les entrées d'eau hydrologiques à divers endroits avec les utilisateurs d'eau spécifiques dans le bassin. RIBASIM est développé et entretenu par Delft Hydraulics aux Pays-Bas. RIBASIM permet à l'utilisateur d'évaluer une variété de mesures liées à la gestion de l'infrastructure, de l'exploitation et de la demande et les résultats en termes de quantité d'eau et de qualité de l'eau. RIBASIM génère des modèles de distribution d'eau et fournit une base pour des analyses plus détaillées de la qualité de l'eau et de la sédimentation dans les tronçons fluviaux et les réservoirs. Il fournit une analyse de la source, donnant un aperçu de l'origine de l'eau à n'importe quel endroit du bassin. (wldelft.nl/soft/ribasim/int/index.html)

RIBASIM a été appliqué pour la planification et la gestion des bassins hydrographiques dans un grand nombre de pays dans le cadre de divers projets. Les organisations de gestion de l'eau l'utilisent pour soutenir leurs activités de gestion et de planification. Des bassins fluviaux vastes et complexes ont été modélisés et simulés avec RIBASIM. Des sous-bassins modélisés séparément peuvent être combinés en un seul bassin principal. Une application récente de RIBASIM est l'utilisation du modèle en tant que composant de routage de flux dans un système d'alerte précoce d'inondation (FEWS). (wldelft.nl/soft/ribasim/int/index.html)

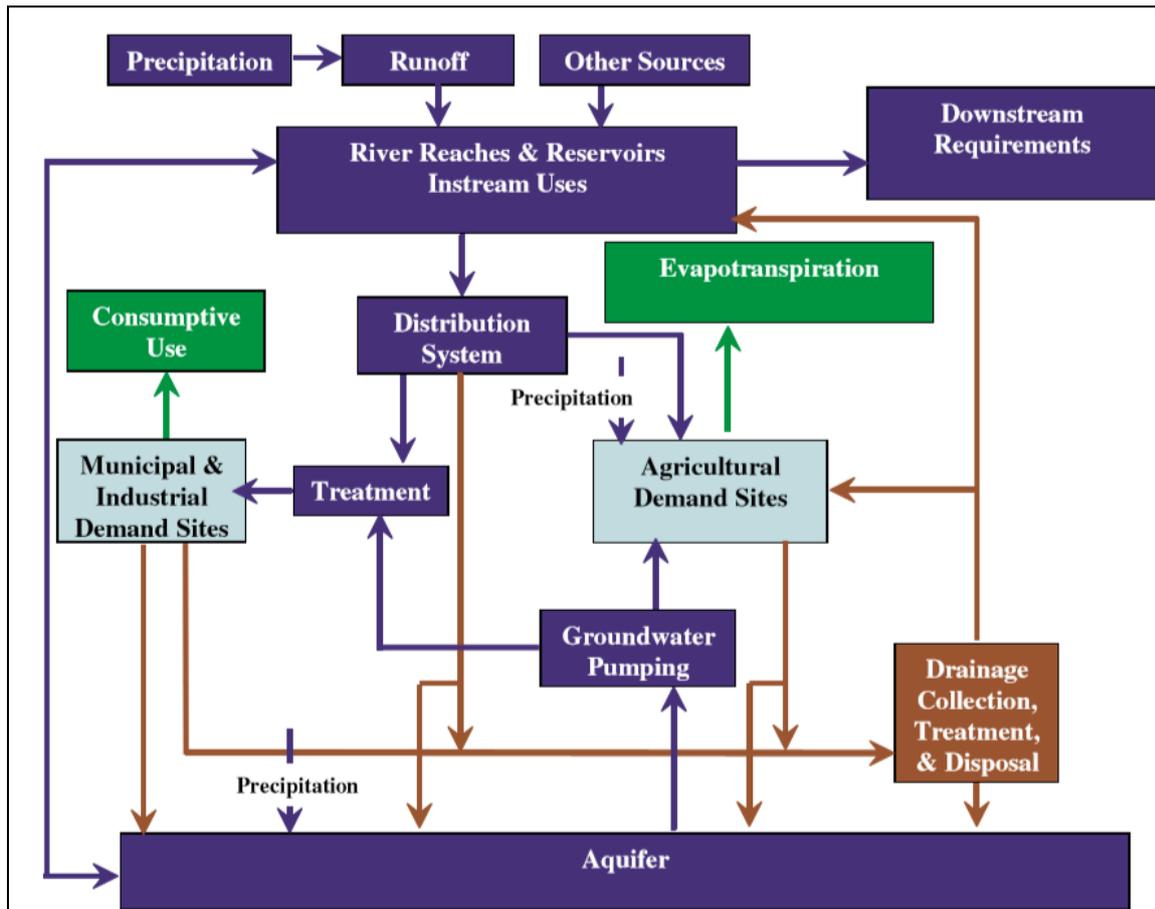


Figure II.5 Schematic diagram of the components of a river basin system (<http://www.wldelft.nl/soft/ribasim/int/index.html>)

II-2-2-5- MIKE BASIN

MIKE BASIN développé par L'Institut Hydraulique Danois (DHI) est une des applications du package Water Ressources, de la suite Mike, destiné à analyser le partage des ressources en eau au niveau des bassins hydrographiques internationaux, nationaux et locaux. Il permet d'optimiser la répartition multisectorielle (domestique, industriel, agricole, énergétiques etc.) des ressources en eau compte tenu des contraintes techniques, économiques, sociales, et politiques et des priorités d'allocation entre les secteurs. Une macro de calcul adaptée permet d'optimiser chaque variable d'entrée. Le modèle est paramétré de manière à définir une solution quasi-stationnaire à chaque pas de temps.

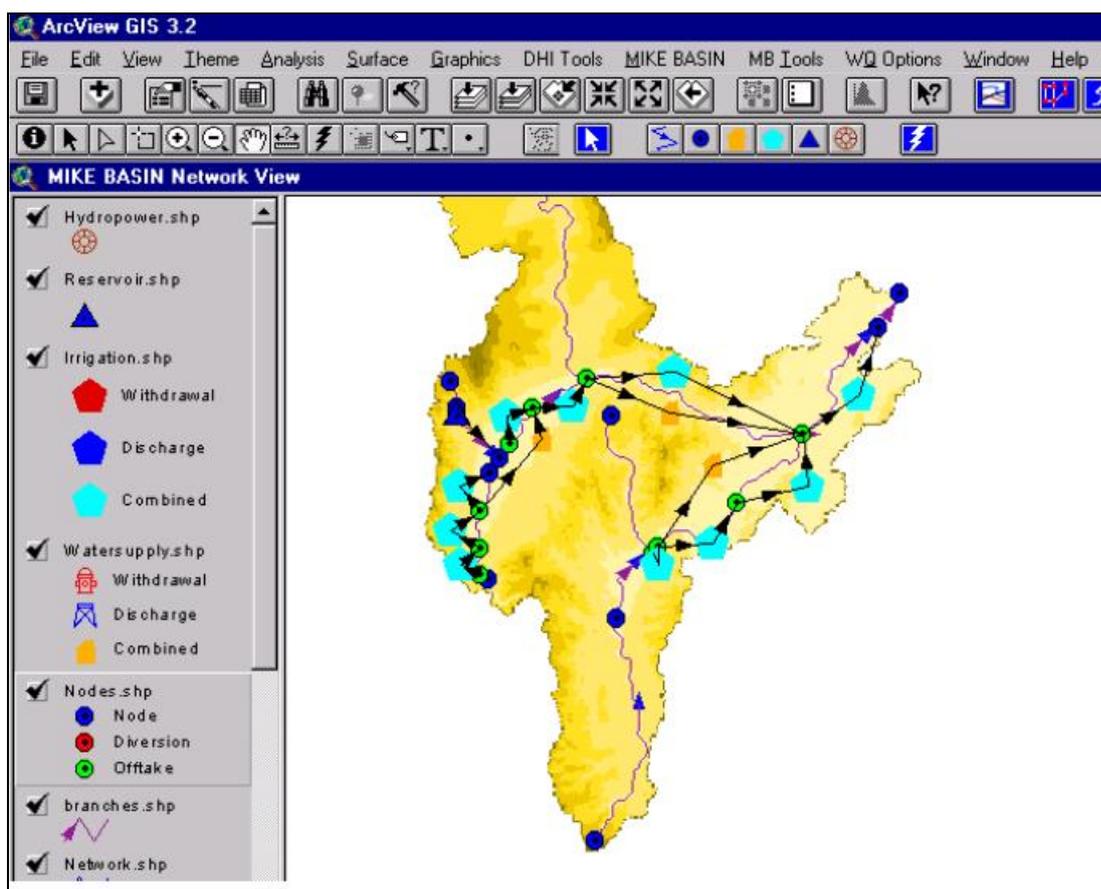


Figure II.6 Interface MIKEBASIN - exemple de vue schématique. (DHI. 2003)

II-2-2-6-HyD 2002

HyD2002 (Hydro Développement) est un environnement de modélisation pour l'aide à la gestion des ressources en eau, de la planification à long terme des aménagements jusqu'à l'optimisation de la gestion stratégique de systèmes d'eau. HyD2002 possède 3 grandes fonctionnalités (Pouget et al. 2005 et 2007):

Construction de systèmes d'eau. Le logiciel permet de construire ou modifier de manière interactive des systèmes constitués de réservoirs, superficiels ou souterrains, d'éléments de captage et de transport d'eau, naturels et artificiels, de demandes d'utilisation et de consommation d'eau. Chacun des composants peut être décrit de façon plus ou moins détaillée. Par exemple, la définition des demandes en eau peut être découpée en différents niveaux de priorité de desserte. La satisfaction de la demande peut être conditionnée à un indicateur: valeur d'écoulement, niveau de réservoir, etc.

Simulation et/ou optimisation de la gestion opérationnelle. HyD permet de simuler le fonctionnement des systèmes d'eau à des pas de temps variables et selon différents modes de gestion, intégrant des priorités de desserte en eau et des règles de mobilisation des ressources, dont les réservoirs. Pour tester des consignes de gestion, il est possible de simuler le fonctionnement des systèmes d'eau, au pas de

temps mensuel, décadaire ou journalier, sur de longues chroniques de données hydro-climatiques, considérées comme représentatives. Les consignes de gestion peuvent être modifiées, au fur et à mesure des simulations, pour améliorer la satisfaction des objectifs.

Evaluation des performances. Une vision globale du fonctionnement d'un système est donnée par la confrontation entre les quantités d'eau demandées et celles réellement fournies. On peut étudier ainsi la fiabilité (nombre de défaillances), la vulnérabilité (ampleur des déficits) et la flexibilité (durée des pénuries) des systèmes. Les résultats caractéristiques de chaque composant ou d'une sélection de composants peuvent être consultés. Différentes simulations peuvent être comparées afin d'évaluer des gains successifs de performances, suivant le mode de gestion adopté ou par rapport à la programmation des ouvrages.

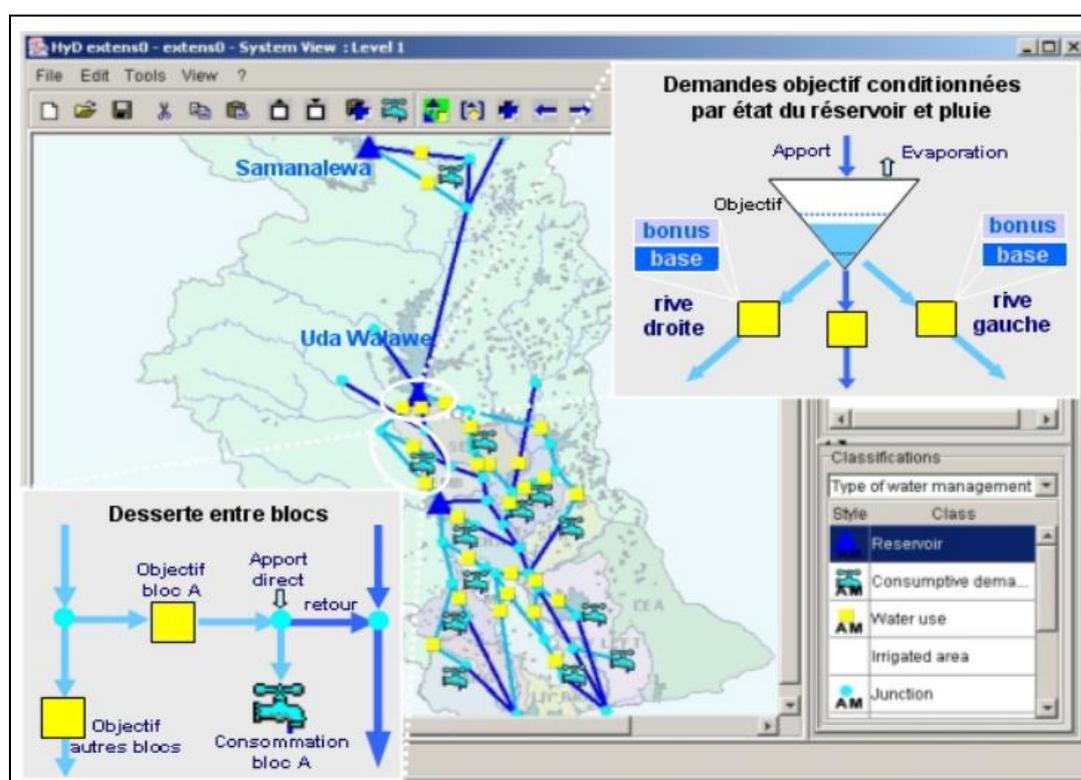


Figure II.7 interface HyD2002 - Exemple de vue schématique. (Pouget et al.,2003)

II-2-2-8-WATER WARE

WATER WARE est un outil de simulation avancé des ressources en eau qui incorpore de nombreux modèles et analyses pour un accès facile aux outils avancés d'analyse de données, modélisation de simulation, évaluation basée sur des règles et aide à la décision multicritère pour une large gamme des problèmes de gestion des ressources en eau. (website: <http://www.ess.co.at/WATERWARE/>. Cost.)

WATER WARE est mis en œuvre de manière ouverte et architecture orientée et objective ; il prend en charge l'intégration transparente des bases de données, SIG, modèles et outils analytiques dans un sens commun, cadre facile à utiliser.

Cela inclut un utilisateur multimédia interface avec un accès Internet, un SIG hybride avec des couches cartographiques hiérarchiques, des bases de données d'objets, du temps analyse de séries, fonctions de génération de rapports, système expert intégré et aide et explication hypermédia système. Gestion des données en temps réel, modélisation, prévision, reporting et support pour la gestion opérationnelle sont fournis avec un système expert en temps réel. Conçu pour être un Fortement lié à la modélisation de la qualité de l'eau des débits réservés afin de déterminer les stratégies optimales de chargement des eaux usées; ainsi que les aspects techniques, environnementaux et économiques connexes.

WATER WARE comprend un nombre de modèles de simulation et d'optimisation et d'outils connexes, y compris un modèle de bilan hydrique, modèle d'estimation de la demande en eau d'irrigation, eau dynamique et stochastique modèles de qualité, un modèle d'écoulement et de transport des eaux souterraines, un modèle d'allocation des ressources en eau, et un système expert pour l'impact et l'évaluation de l'environnement.

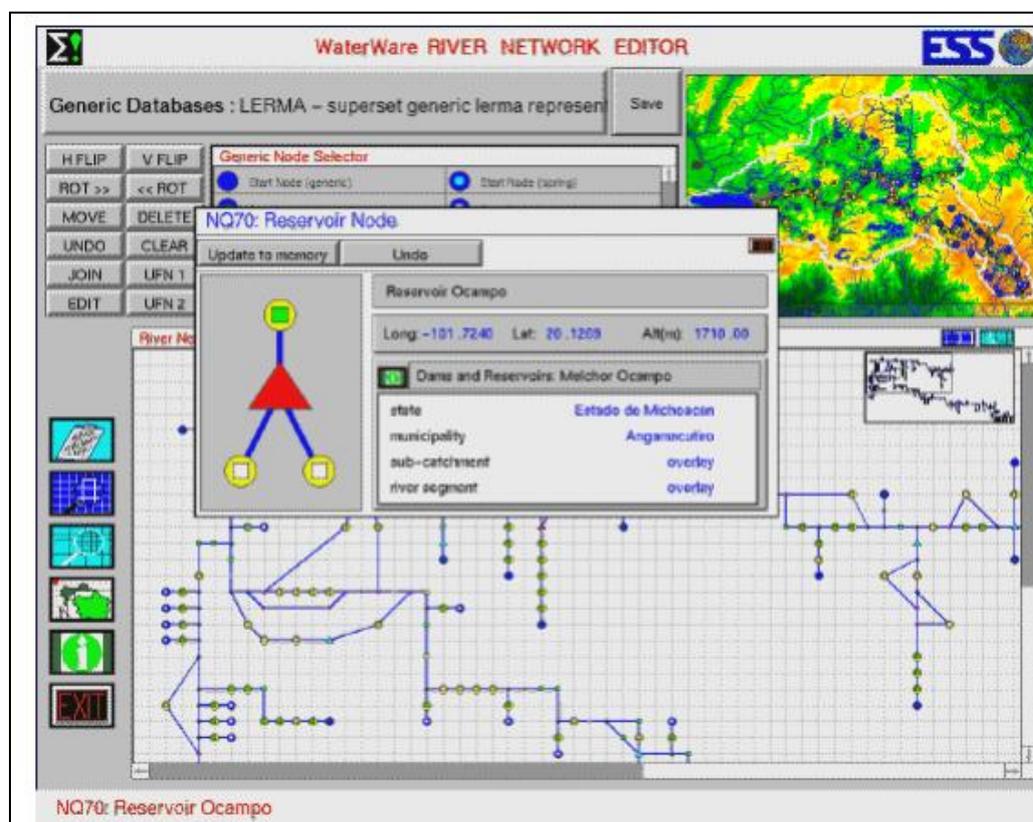


Figure II.8 Aperçu du Modèle Water Ware (Progea S.r.l 2003)

II-2-2-9- BASINS

BASINS, développé par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis. Après la première version en 1996 et la mise à niveau en 1998, Basins en est à sa troisième version, datée de juin 2001. Conçue à l'origine pour répondre aux besoins des agences locales, régionales et nationales de contrôle de l'environnement et de la pollution étudiées à l'échelle d'un bassin versant. (Progea S.r.l 2003) . Il permet d'estimer rapidement de nombreuses données ponctuelles ou diffuses dans un format simple à utiliser et comprendre.

Objectifs

- Faciliter l'examen de l'information environnementale;
- Soutenir l'analyse des systèmes environnementaux;
- Fournir un cadre intégré et de modélisation pour l'examen des alternatives de gestion des sources ponctuelles et non ponctuelles;

Cette analyse a également été appliquée à d'autres problèmes: débordements d'égouts unitaires par temps pluvial, gestion des eaux pluviales, protection des sources d'eau potable, utilisation des terres urbaines et rurales. Évaluations, opérations d'alimentation des animaux et pratiques de gestion de l'habitat. (Progea S.r.l 2003)

Les outils d'évaluation (TARGET, ASSESS et DATA MINING) constituent trois des extensions utiles des BASINS. Ils permettent à l'utilisateur d'effectuer des évaluations régionales des conditions de qualité de l'eau dans les cours d'eau, d'identifier les rejets de sources ponctuelles à l'échelle du bassin versant et d'accéder aux données récapitulatives à une échelle spécifique au site.

Le Target travaille au niveau macro des régions et des zones ayant de nombreux bassins versants. Il étudie les données de surveillance concernant les concentrations de polluants et de paramètres ou les rejets autorisés et il classe les différents bassins versants en fonction des paramètres d'évaluation, des seuils et des périodes de surveillance choisis par l'utilisateur. Les résultats de l'analyse sont affichés dans trois vues différentes:

- une couche géographique affichant la valeur de surveillance moyenne calculée pour chaque bassin versant;
- un graphique à barres qui montre la répartition des bassins versants par rapport au nombre de stations dépassant la valeur seuil sélectionnée.
- un diagramme à barres qui résume la répartition des bassins versants par rapport aux valeurs moyennes de surveillance.

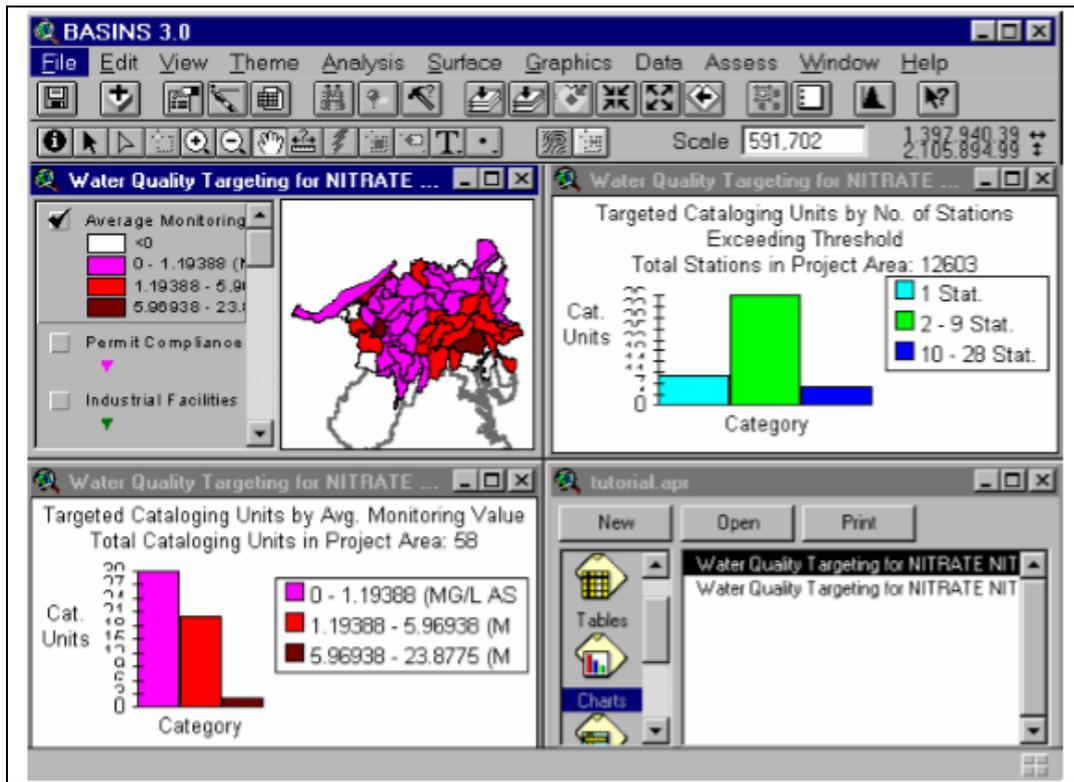


Figure II.9 Exemple de vue Schématique - Interface BASINS (Progea S.r.l 2003)

II-2-2-10-SWAT:

SWAT (Soil & Water Assessment Tool) est un modèle de bassin fluvial développé pour quantifier l'impact des pratiques de gestion des terres dans les grands bassins versants complexes. SWAT est un modèle de logiciel du domaine public activement soutenu par le USDA Agricultural Research Service au Blackland Research & Extension Center à Temple, Texas, États-Unis. (Arnold et al 1998). Il s'agit d'un modèle hydrologique avec les composantes suivantes: temps, ruissellement, retour, percolation, évapotranspiration, pertes de transmission, stockage en étang et en réservoir, croissance et irrigation des cultures, écoulement des eaux souterraines, acheminement, transport de nutriments et de pesticides et transfert d'eau. Le SWAT peut être considéré comme un modèle de transport hydrologique des bassins versants. Ce modèle est utilisé dans le monde entier et est en cours de développement.

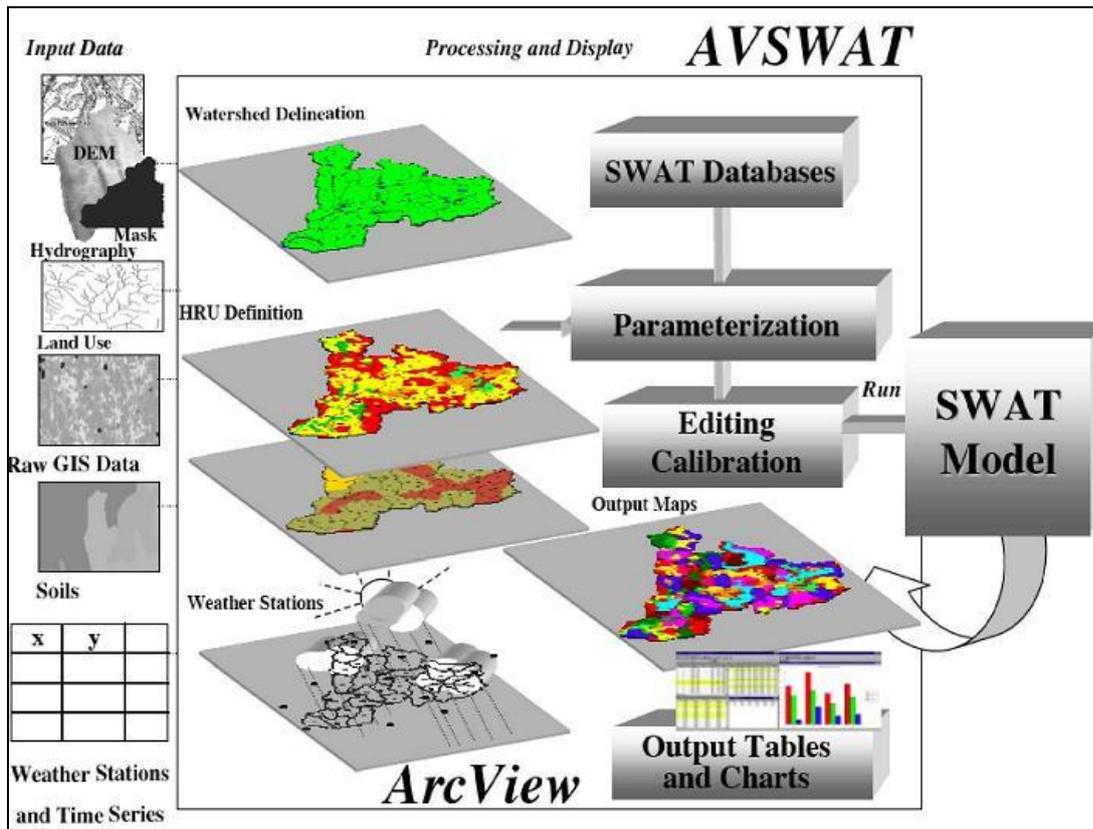


Figure II.10 Aperçu du modèle ArcView SWAT.

(<https://geo.arc.nasa.gov/sge/casa/hydrologic/swat.html>)

Principales caractéristiques du modèle USDA-SWAT

Prévoit l'impact des pratiques de gestion des terres sur les rendements quotidiens en eau, en sédiments et en produits chimiques agricoles dans les grands bassins versants; Basée sur ArcGIS et efficace sur le plan des calculs, elle accepte facilement les couches télé détectées mises à jour, les données sur la couverture du sol, le climat et les fichiers de sol;

Définit les unités de réponse hydrologique (HRU) comme des parties d'un sous-bassin qui possèdent des combinaisons uniques d'utilisation des terres, de couverture végétale et d'attributs du sol. Les paramètres de gestion des terres peuvent être personnalisés pour les pratiques locales; Prévoit le transport des constituants dans et hors de tous les sous-bassins et canaux fluviaux: sédiments (tonnes métriques), azote organique, nitrate et ammonium (kg N), phosphore organique et minéral (kg P), chlorophylle-a, biomasse algale, demande biochimique en oxygène carboné, oxygène dissous, pesticide soluble et sorbé et nombre de bactéries persistantes. (<https://geo.arc.nasa.gov/sge/casa/hydrologic/swat.html>)

Détermine le rendement en sédiments utilisé pour le transport dans l'eau à partir de l'équation de perte de sol universelle modifiée (MUSLE). Pour l'acheminement des sédiments, le calcul du dépôt est basé sur les vitesses de chute de diverses tailles de sédiments.

Estimer l'érodabilité des chenaux en fonction des propriétés du lit ou des matériaux de la berge et d'un facteur de couverture des chenaux (végétation). Les taux de dégradation des canaux sont déterminés à partir de l'équation de Bagnold.

Principales caractéristiques du modèle USDA-SWAT prévoit l'impact des pratiques de gestion des terres sur les rendements quotidiens en eau, en sédiments et en produits chimiques agricoles dans les grands bassins versants;

II-2-2-11- STRATEAU

Strateau est une application d'aide à la décision qui permet sur un territoire donné (unité de gestion, bassin versant) de quantifier la ressource en eau disponible en lien avec la demande en eau associée aux différents usages. Grâce à un ensemble de données (spatiales, temporelles...), Strateau permet de faire des scénarios en actionnant différents leviers comme les modifications des pratiques agricoles (irrigation, choix variétal), le climat, la démographie, les usages industriels, les ressources alternatives, la construction d'un barrage, etc., tout en incluant une demande environnementale. L'objectif est d'explorer la soutenabilité de différents scénarios de changement global et d'aménagement du territoire. Véritable outil d'aide à la décision pour les gestionnaires, outil ergonomique et facile d'utilisation, Strateau a été développé par l'Ambassade de l'Eau et financé notamment par l'Onema et les agences de l'eau. Il est porté au forum comme une solution au service de la gestion quantitative de l'eau en France et plus largement dans le bassin méditerranéen dont les pays connaissent un stress hydrique fort et chronique. (<http://www.onema.fr/strateau>)

La méthodologie de l'outil de calcul veut répondre aux besoins et problèmes spécifiques de l'évaluation de la demande et des ressources en eau d'un territoire :

- Demandes et ressources temporalisées et territorialisées suivant 4 mailles temporelles et 5 mailles spatiales
 - Prise en compte de l'aspect quantitatif et qualitatif de la demande et de la ressource.
 - Intégration des facteurs exogènes modifiant les demandes et la ressource.
 - La prise en considération de la réalité et de la spécificité des territoires considérés
- Une approche économique permettant d'affecter une valeur économique à l'eau

En prenant en compte ces spécificités, l'outil cherche à répondre à un besoin de mesure homogène de la demande et des ressources en eaux des territoires. <http://www.ambassade-eau.com/strateau>



Figure II.11 Aperçu du modèle STRATEAU. (<http://www.onema.fr/strateau>)

II-2-2-12- IDSS+

IDSS+ (Integrated Decision Support System with a multicriteria method) a été créé par l'Université de Twente pour évaluer les différentes politiques de gestion qui pourraient être mises en œuvre par les décideurs.(Sophie 2010). Les modèles regroupés au sein d'IDSS+ sont:

- ABOPOL : modèle hydraulique d'eau de surface et de qualité
- MODFLOW : modèle d'eaux souterraines
- MODPATH : modèle de risque de contamination des eaux souterraines
- BODEP : modèle de l'activité agricole et de ses conséquences sur la ressource en eau.
- Un modèle d'écologie végétale
- + un module d'aide à la décision

II-2-2-13-GIBSI

GIBSI est un outil informatique permettant aux gestionnaires de l'eau d'explorer divers modes de gestion à l'échelle du bassin versant (tant en terme de qualité que de volume et de masse). GIBSI est à la fois un système de modélisation intégrée (incluant base de données quantité et qualité et modèles de simulation) et un système de gestion des données attributs et spatiales, incluant un système de gestion de bases de données (SGBD) et un SIG. Les modèles distribués de simulation prédisent les impacts des scénarios tout le long du réseau hydrographique du BV étudié. GIBSI se compose : – d'un interface graphique, d'une base de données et d'un pilote des simulations (INRS) – de modèles de simulation : HYDROTEL (hydrologie), USLE (érosion hydrique - version adaptée), SWAT/EPIC (cycle et transport de polluants agricoles - version adaptée) et QUAL2E (qualité de l'eau et érosion des rivières - version adaptée / voir fiche correspondante) – d'outils de gestion des données : GRASSLAND, ACCESS – d'un outil d'aide à la préparation des données : PHYSITEL

II-2-2-14-WEAP

WEAP : développé par l'Institut Environnemental de Stockholm (SEI) fournit un cadre compréhensif, flexible et convivial pour la planification et l'analyse des politiques de répartition des ressources en eau entre différents usages. Il simule une large gamme de composantes naturelles et anthropiques des systèmes, y compris les eaux de surface, les eaux souterraines, la répartition multisectorielle des ressources en eau. Le module d'analyse financière permet aussi à l'utilisateur d'explorer les comparaisons coût-bénéfices des projets. Par ailleurs dans les situations où les modules proposés par WEAP ne suffisent pas pour analyser toutes les composantes des systèmes hydrographiques, des liens dynamiques vers d'autres modèles et logiciels, comme QUAL2K (analyse de la qualité des eaux), MODFLOW5 (modélisation des nappes et aquifères), PEST (Calibration des paramètres), Excel et GAMS (importation des données) permettent d'approfondir l'étude des systèmes hydrographiques.

Dans le cadre de cette étude WEAP sera utilisé pour modéliser le bassin versant du Mazafran qui fait partie de la plaine de la Mitidja. Le quatrième chapitre décrit de manière plus détaillée le modèle.

CONCLUSION

L'intérêt pour les outils numériques comme support à la décision dans la gestion de la ressource en eau connaît actuellement un essor prodigieux chez les décideurs et scientifiques de nombreux organismes gouvernementaux et centres de recherche de par le monde. Cet essor coïncide avec le passage d'un mode de gestion traditionnel axé sur l'intervention à un mode de gestion intégrée des ressources axé sur la planification et le développement durable des ressources. Le fait que cette nouvelle approche de gestion fasse intervenir une plus grande complexité du système à gérer, un volume de plus en plus grand d'informations de toute nature et une interaction complexe entre les différents problèmes liés à l'usage de l'eau, oblige de plus en plus le décideur de s'appuyer sur des outils numériques qui lui permettront d'obtenir une vision globale des problèmes à résoudre et une idée de l'impact probable que ces décisions auront sur l'environnement physique et humain.

CHAPITRE III :
ASPECT GENERALE
SUR LA ZONE D'ETUDE

Chapitre III : ASPECT GENERALE SUR LA ZONE D'ETUDE

III-1 présentation de la zone d'étude

L'objectif du présent chapitre consiste à la description du bassin versant du Mazafran et donner un aperçu sur la situation actuelle des potentialités des ressources en eau, les contraintes et les efforts de mobilisation de ces ressources.

III-1-1 Contexte géographique et démographique:

La plaine de la Mitidja est située juste au Sud d'Alger, elle s'étend sur les territoires des Wilaya d'Alger, Boumerdès, Tipaza et Blida.

D'une orientation globale WSW – ENE et d'une altitude moyenne de 100 m, elle occupe une superficie de 1400km² depuis l'oued Boudouaou à l'Est jusqu'au bassin de Menacer à l'Ouest, sur une longueur de 100 km avec une largeur qui varie de 8 à 18 km. Elle est limitée au Sud par les piémonts de l'Atlas et au Nord par la ride du Sahel. Notre zone d'étude se limite sur le bassin versant du Mazafran (Figure III.1) qui garde les mêmes limites au Nord et au Sud, mais celles de l'Est et l'Ouest sont hydrogéologiques, ce sont les limites de partage des eaux:

A l'Est, l'axe Soumaa-Boufarik, forme la limite avec le bassin d'El-Harrach. Tandis qu'à l'Ouest avec le bassin de l'oued Nador.

Les principaux oueds qui traversent le bassin du Mazafran sont : oued Djer, Bouroumi et Chiffa qui sont les affluents du Oued Mazafran . Les débits les plus élevés sont enregistrés sur ce dernier par ce qu'il est le plus important oued qui traverse la plaine de la Mitidja avec une longueur de 65 km, la surface de son bassin versant étant égale à 1900 km².

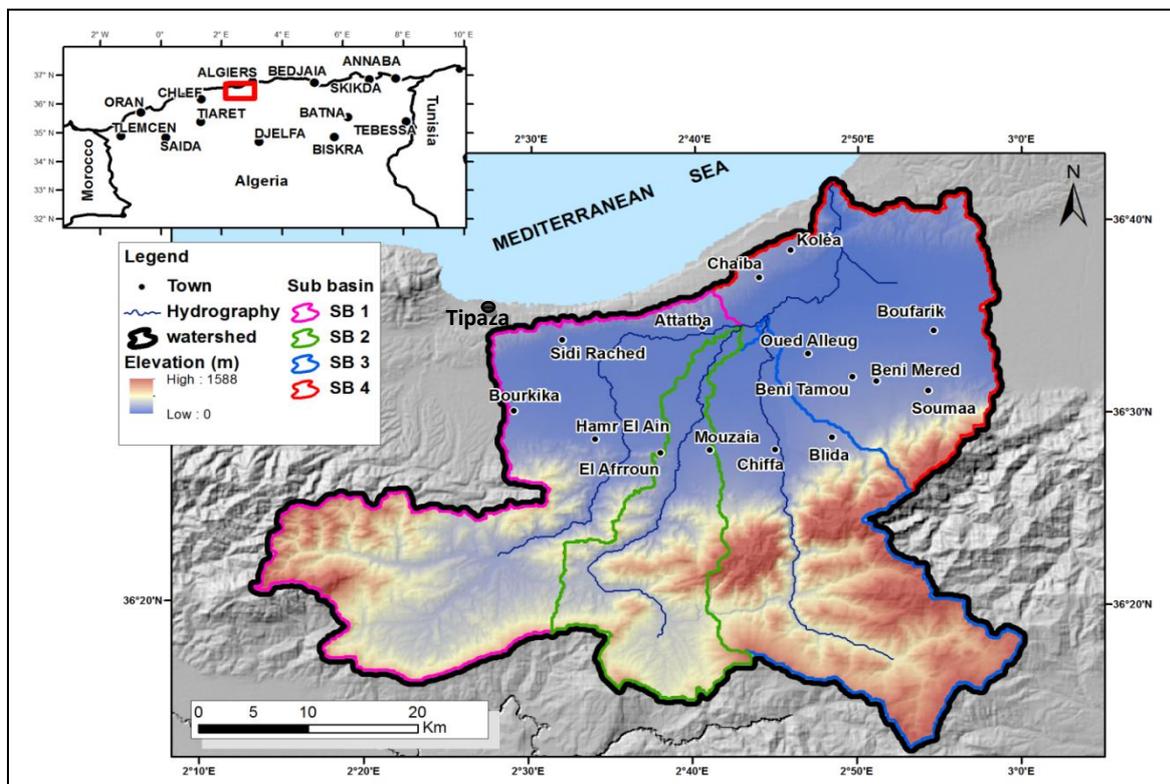


Figure III.1 Situation géographique du bassin versant du Mazafran

La ressource en eau souterraine devient de plus en plus insuffisante pour répondre aux besoins actuels ; cela est dû à la forte croissance des centres urbains. En effet, plus de la moitié des terres irriguées sont alimentées par la nappe quaternaire, les niveaux piézométriques ont chuté avec des valeurs alarmantes (plus de 20 m) surtout dans la région du Mazafran où les prélèvements d'eau sont très importants (Ait-Ouali 2007).

Le relief plat et les conditions climatiques très favorables font une excellente région agricole d'une superficie totale agricole de la plaine est de 129000 ha dont environ de 24% fait partie du bassin du Mazafran; cette dernière est considérée comme l'une des régions les plus fertiles d'Algérie, les sols sont homogènes et hautement fertiles (Ecrément, 1971).

Tableau III.1 Répartition de la population

Wilaya	Commune	Population	Wilaya	Commune	Population
Blida	Blida	159 448	Tipaza	Bourkika	22 118
	Oued el Alleug	48 000		Hadjout	48 561
	Elafroun	42 197		Meurad	19 916
	Chiffa	34 144		Ameur El ain	29 566
	Soumaa	37 833		Attatba	27 059
	Mouzaia	51 304		Chaiba	20 427
	Boufarik	68 463		Kolea	54 401
	Beni Meurad	35 213		Sidi-Rached	11 062
	Bni-Tamou	35 826		Tipaza	25 225

(ONS, 2008)

III-1-2 Climatologie

III-1-2-1 Introduction :

Le climat de l'Algérie est un climat de transition entre le climat tempéré humide et le climat désertique. Il varie de manière contrastée, du type méditerranéen et semi-aride dans le nord vers le désertique dans le Sahara.

La zone d'étude se situe au Nord de l'Atlas Blidéen (1620 m au pic de Chréa) qui la protège des influences sahariennes. Elle se trouve par sa position géographique, soumise à l'influence du régime climatique méditerranéen.

La température moyenne annuelle varie de 16° C à 18 ° C ; notons que la variation est fonction de l'éloignement par rapport à la mer ; ces températures sont plus douces à proximité du littoral qu'à l'intérieur. L'humidité relative décroît très largement de la côte à l'intérieur, elle est plus élevée en hiver qu'en été. La plaine reçoit une lame d'eau d'environ 616 mm/an. Les mois d'octobre à mars constituent la période la plus pluvieuse, tandis que les précipitations ne sont presque nulles pendant les trois mois d'été.

III-1-2-2 Pluviométrie:

La plaine de la Mitidja compte plusieurs postes d'observations pluviométriques. Leur période de fonctionnement varie selon les régions. Les données pluviométriques sont recueillies au niveau de 4 stations réparties de façon plus ou moins homogène sur l'ensemble des sous bassins versants de du Mazafran (Fig.). Ces dernières offrent des mesures sur une période d'observation suffisamment longue (34 ans) permettant une exploitation statistique des données. Le tableau N° III.2 illustre les caractéristiques de ces stations.

Tableau III.2 Caractéristiques générales des stations pluviométriques

N°	Stations	Code ANRH	Cordonnees Lambert		Altitudes	Période de Fonctionnement
1	Blida	021116	509.800	352.600	210	1971 – 2007
2	Boufarik	021209	518.550	363.40	60	1951-2007
3	Attatba	021022	495.450	363.150	60	1971-2007
4	Ameur Elain	021020	488.100	352.800	110	1971 – 2004

(ANRH BLIDA)

Les quatre stations choisies pour les mesures de la pluviométrie de la région d'étude sont représentées dans la figure III.2.

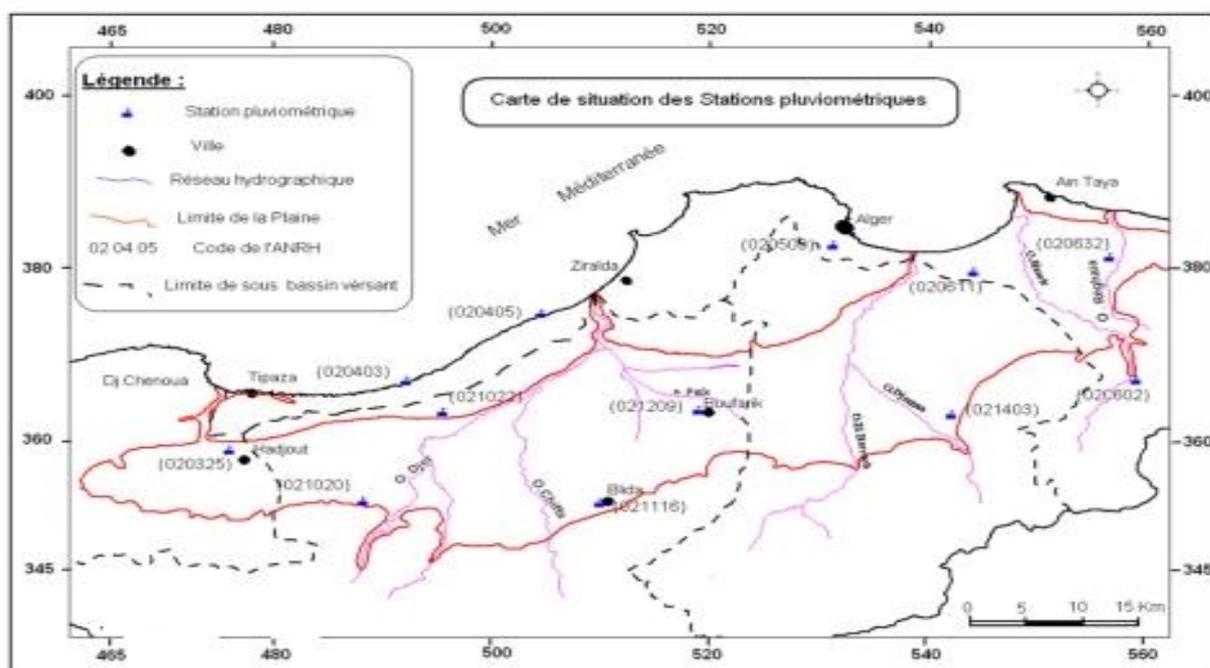


Figure III.2 Carte de situation des stations pluviométriques (ANRH 2012)

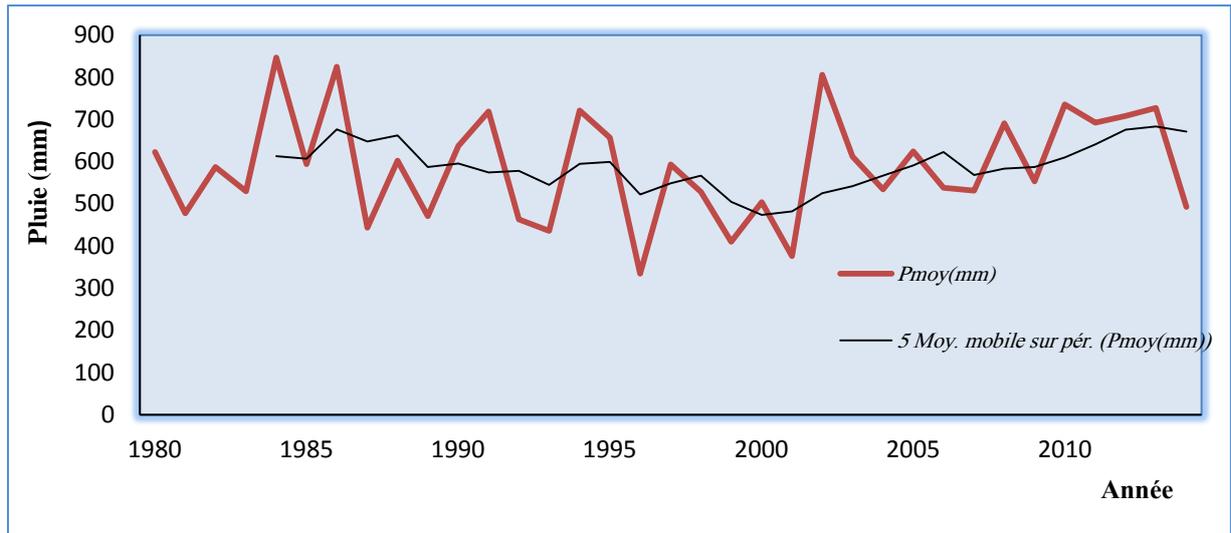


Figure III.3 Evolution de la pluviométrie moyenne sur la région d'étude période (1980-2014)

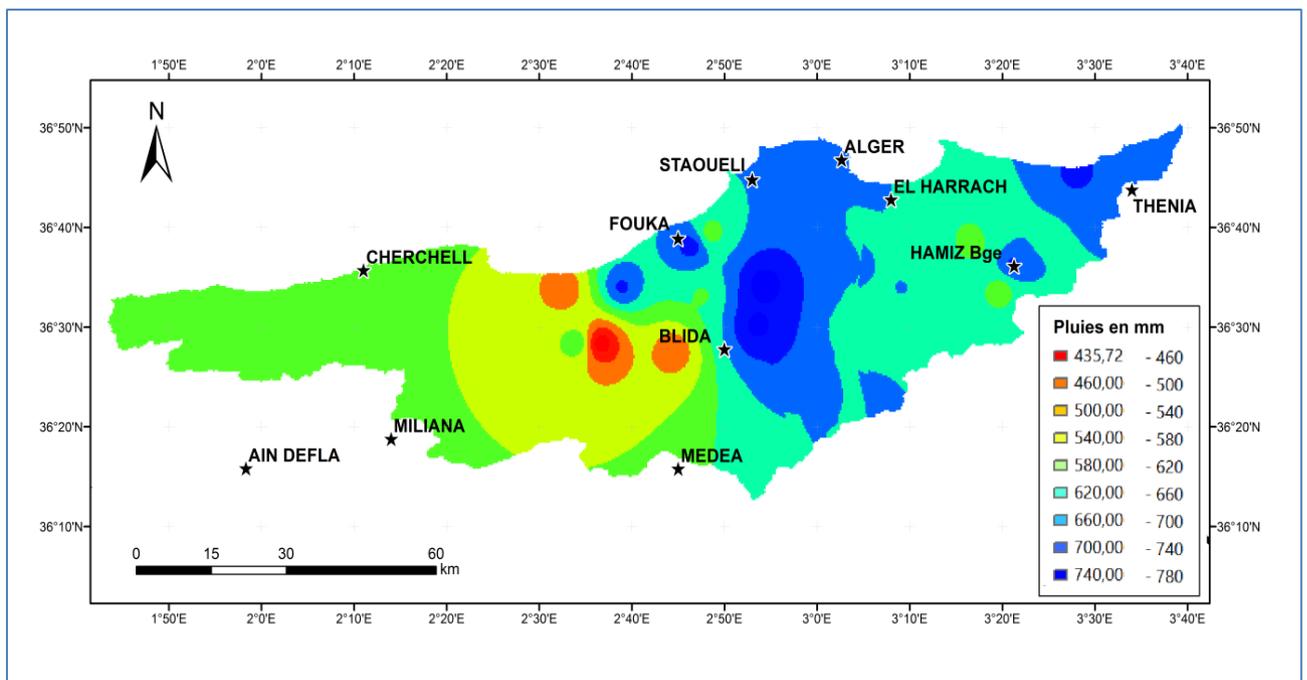


Figure III.4 Pluviométrie de la plaine de la Mitidja

III-1-2 -3 Température:

La température joue un rôle très important dans l'évaluation du bilan hydrologique et la connaissance des caractéristiques climatiques d'une région.

Les relevés moyens annuels des températures ont été enregistré sur une période de 34 ans (1980 à 2014), par les stations de la zone d'étude, le minima enregistré en 2005 avec une moyenne annuelle de 17,58°C et la valeur max a été observée en 1998 de l'ordre de 21,54°C

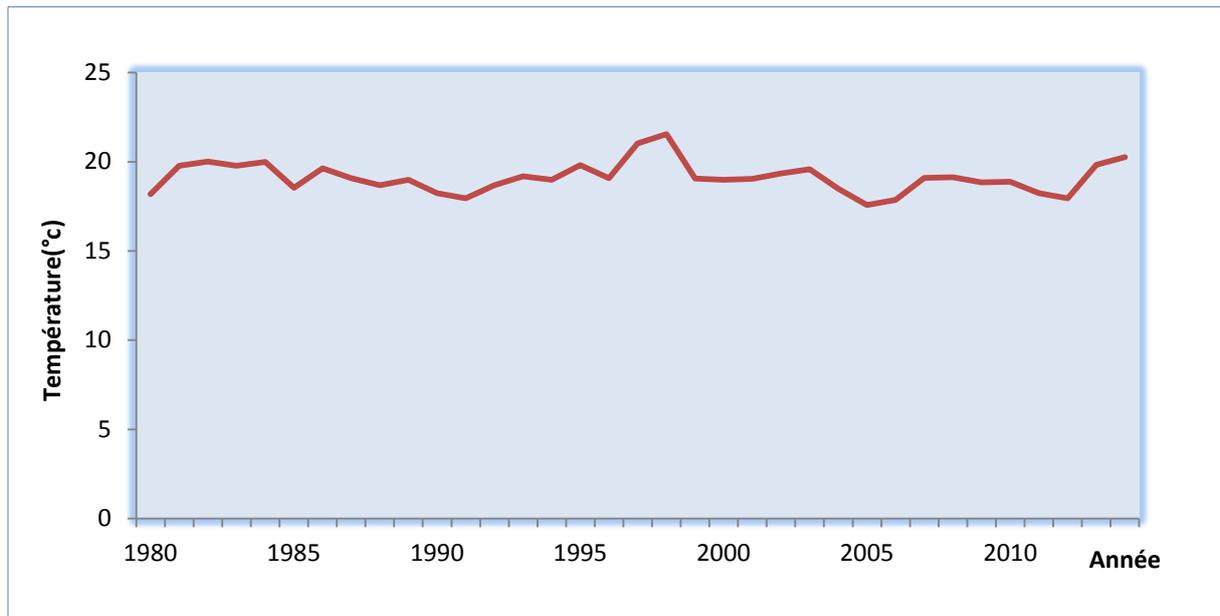


Figure III.5 Evolution des températures moyennes dans la région d'étude (période 1980-2014)

III-1-2-4 Evapotranspiration potentiel «ETP» :

C'est le terme le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, mais elle est difficile à estimer car elle englobe l'ensemble des phénomènes d'évapotranspiration directs par retour dans l'atmosphère à partir des réservoirs de surface (lac, mer,...), souterrains (aquifères) et transpiration des plantes. On a un nombre de facteurs qui sont essentiels pour l'évapotranspiration ; tels que :

- La température.
- L'humidité de l'air.
- Le rayonnement solaire.
- Le vent.
- La pression atmosphérique.

L'ETP correspond à la quantité d'eau maximale qui pourrait s'évaporer au niveau d'un sol, ce dernier est suffisamment approvisionné en eau et sous des conditions climatiques.

La formule de Thornthwaite a été choisie pour le calcul de ce paramètre vu le manque de données de quelques paramètres climatiques.

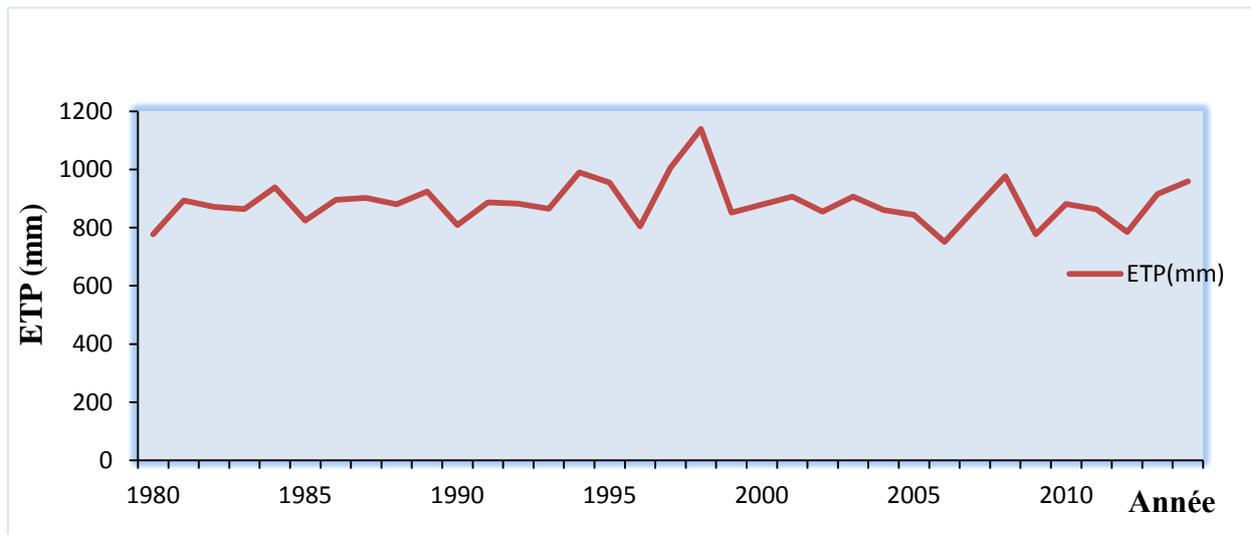


Figure III.6 Evolution de l'évapotranspiration calculée par la formule de Thornthwaite pour la période (1980-2014)

L'hydro climatologie joue un rôle très important dans une étude hydrogéologique les paramètres et les données climatiques nous permettent non seulement de caractériser le régime climatique mais également de quantifier les apports aux réservoirs souterrains par le biais du bilan hydrologique.

III-1-3 Etude géologique et géomorphologique

La Géologie de la Mitidja a fait l'objet de plusieurs études fondées sur les travaux majeurs de Glangeaud et Aymé, 1952 qui avaient établi que la Mitidja était un bassin intra montagneux formé par effondrement rempli de dépôts d'âge plio-quadernaire (Ait Ouali, 2007).

Au nord, le bassin versant de l'Oued Mazafran est limité par les collines du Sahel qui laissent place vers le sud à la plaine de la Mitidja puis au domaine de l'Atlas Tellien. Le Sahel est un ensemble de collines de faible amplitude (< 200 m) dont les formations rocheuses datent du Pliocène et sont constituées de calcaires ou de calcaires gréseux, selon la carte géologique de Tipaza au 1 : 50 000.

La plaine de la Mitidja comprend les unités géomorphologiques suivantes : zones d'épandage, étendues marécageuses et inondables ainsi que cônes de déjection. Les zones d'épandage occupent la majeure partie de la plaine et sont formées de matériaux fins, limoneux à argilo-limoneux ponctués de zones plus riches en gravier. Les cônes de déjection sont généralement constitués de matériaux grossiers dans une matrice limono-argileuse. À proximité de Blida, on trouve l'un des plus importants cônes de déjection.

Le troisième domaine présent dans le bassin versant de l'Oued Mazafran est l'Atlas Tellien. Cette zone complexe est constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur. Les formations sont essentiellement sédimentaires et datent du Crétacé, de l'Éocène et du Miocène. Les formations rocheuses sont surtout constituées de flysch², de marnes³ et de schistes.

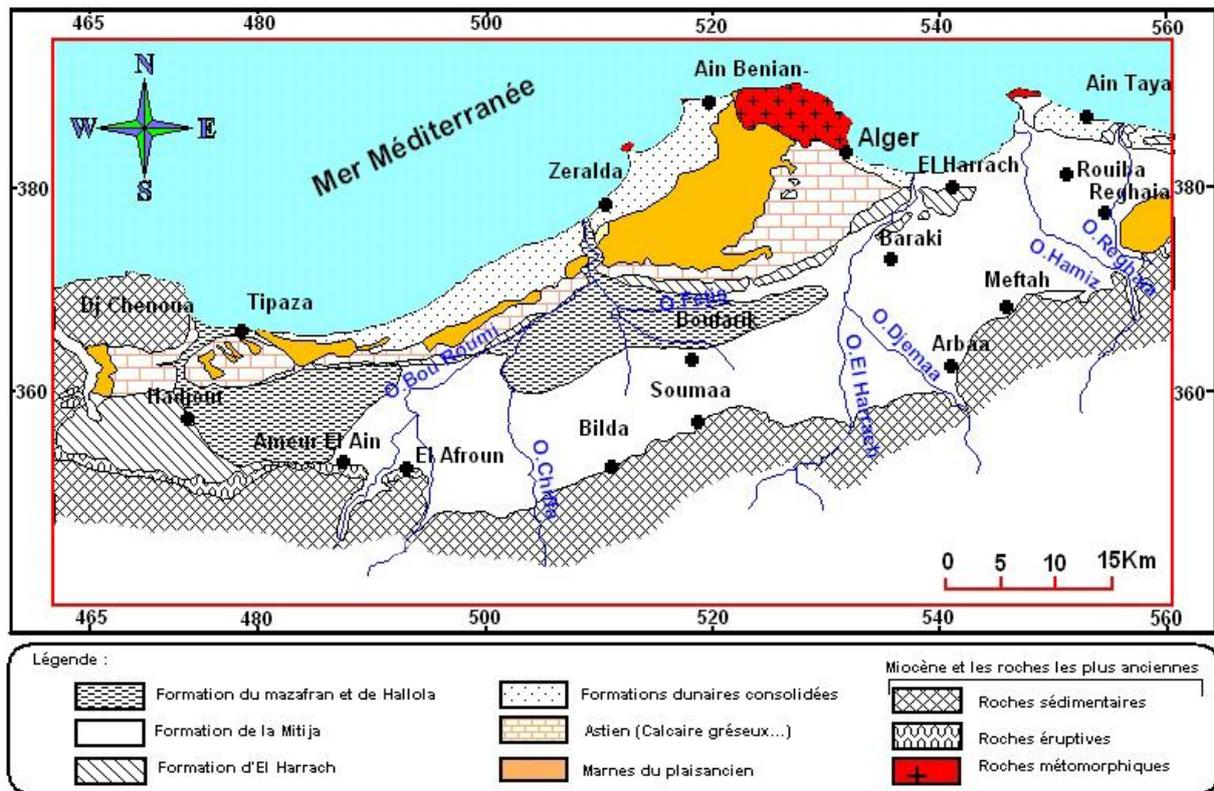


Figure III.7 Carte géologique de la Mitidja (ANRH 2012)

III-1-4- Topographie

Les ensembles topographiques les plus importants au sein du bassin versant de l'Oued Mazafran sont la Mitidja, dans la portion aval, et l'Atlas Tellien, dans la partie amont. La dénivellée maximale du bassin, qui atteint 1628 m est mesurée entre un point situé à environ 12 m sous le niveau de la mer et un second point situé à 1616 m d'altitude, à la limite sud du bassin (Figure III-9).

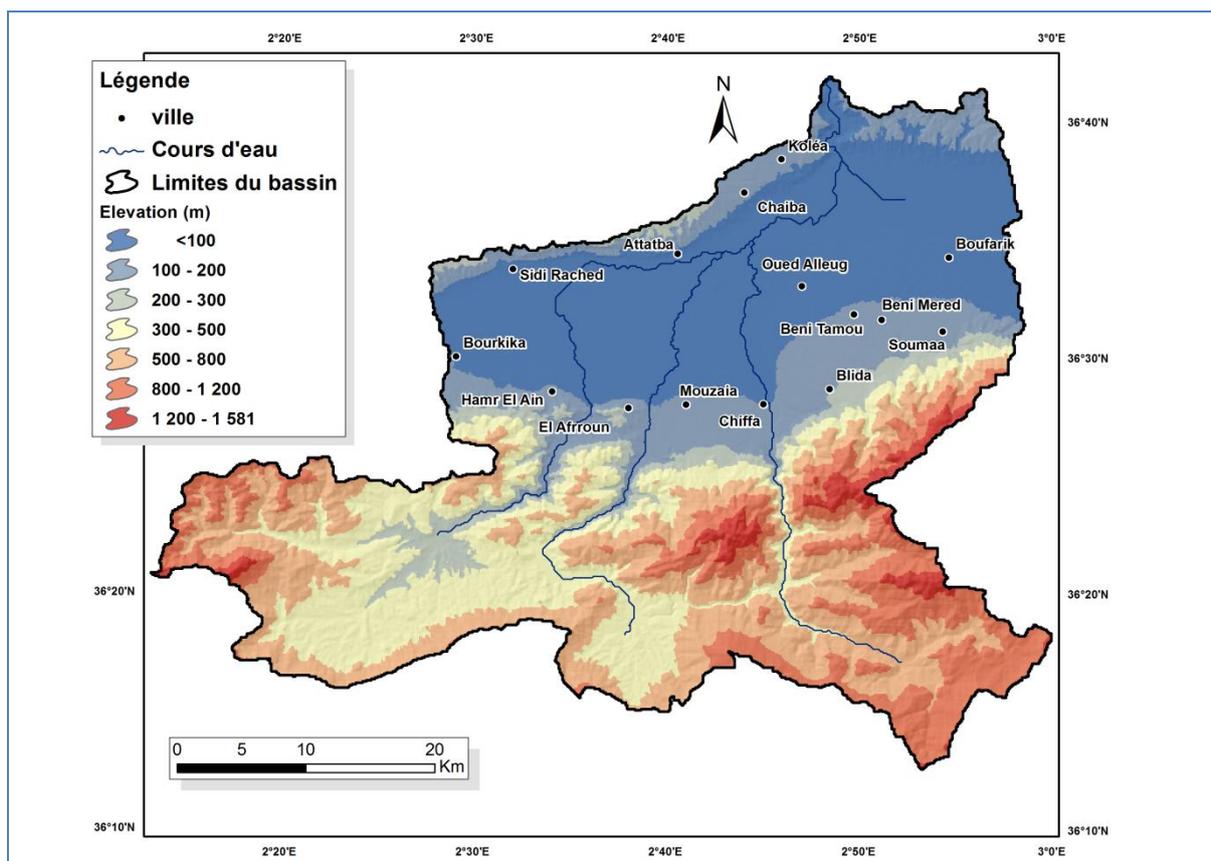


Figure III.8 Présentation du relief de la zone d'étude

III-1-5 Pédologie

Selon l'inventaire de l'ANRH sur les ressources en sols d'Algérie, le bassin versant de l'Oued Mazafran se répartit sur quatre cartes pédologiques au 1 : 20 000, soit le Sahel Algérois, Plaine de la Mitidja, Plaine de Hadjout et Plaine de l'oued Nador. La carte pédologique de Durand (1954), réalisée à une échelle grossière (1 : 500 000), couvre pour sa part la partie de la zone d'étude située dans l'Atlas Tellien.

Les sols de la plaine de Mazafran sont formés de sols peu évolués avec un horizon humifère de 15 à 30 cm d'épaisseur et de sols d'apport alluvial se localisant dans le lit majeur des rivières et dans les milieux à tendance hydromorphe. Par endroits, on rencontre la présence d'une nappe d'eau souterraine variant de 80 à 120 cm de profondeur, selon le changement de la texture de sols qui est soit argilo-limoneuse, limono-argileuse ou calcaire. En général, ce sont de bons sols pour l'agriculture.

Les sols alluviaux sont généralement fertiles en raison de leur richesse en matériaux en cours d'altération (Benstitti, 1985). Les cultures pratiquées sur ces sols sont essentiellement les céréales, les fourrages en sec et la vigne.

Les sols de l'Atlas Tellien sont surtout calcaires et salins (sols d'ordre Solontchak) dans la partie ouest, alors que des sols insaturés occupent la partie est. Près de Blida, la plaine est caractérisée par des sols alluviaux, tandis que des sols de marais occupent la portion aval.

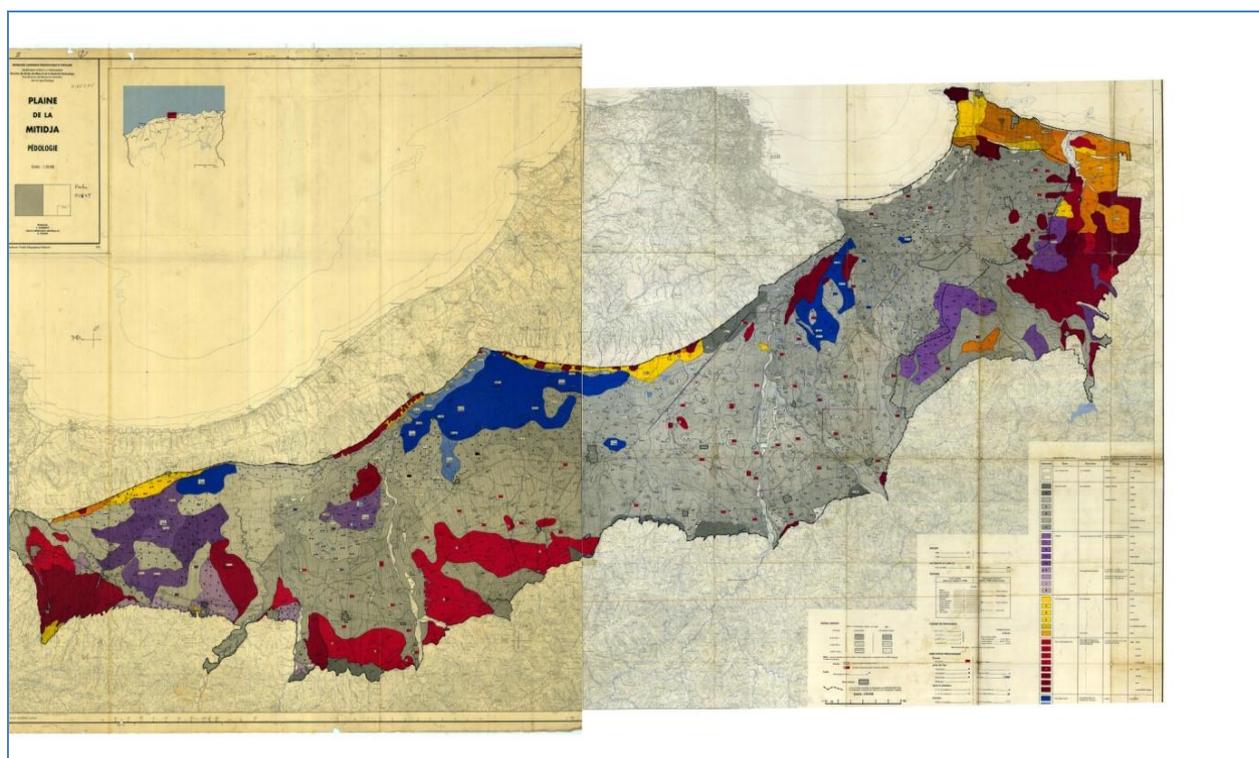


Figure III.9 la carte de la pédologie de la plaine de la Mitidja (ANRH 1967)

III-1-6 Déclivité

L'Atlas Tellien a engendré de grandes zones possédant des pentes supérieures à 10 %, et ce, sur plus de la moitié du bassin (Tableau III.3). Ces versants se situent principalement dans la portion sud du bassin versant de l'Oued Mazafran (Figure 4.3). Pour sa part, la Mitidja est caractérisée par une dénivelée inférieure à 3 %.

Tableau III.3 Caractéristiques des dénivelées sur le bassin versant de l'Oued Mazafran

Classe de pente	Territoire	
	km ²	%
Nulle à faible (0 - 3%)	404,7	21,2
Modérée (3 - 10%)	462,2	24,2
Abrupte (10 - 15%)	148,8	7,8
Très abrupte (15 - 35%)	519,7	27,3
Extrême (35% et plus)	371,1	19,5

(MATET 2010)

III-1-7 Régime hydrique

L'Oued Mazafran prend sa dénomination « Mazafran » juste en aval de la confluence des Oueds Chiffa et Djer. D'une longueur de 39,5 km et drainant 280 km², l'Oued Chiffa prend sa source dans les Monts de l'Atlas, coule vers le nord puis traverse la partie occidentale de la plaine de la Mitidja, avant de rejoindre l'Oued Djer. D'une longueur de 40,5 km et drainant 340 km², l'Oued Djer prend sa source dans la Wilaya d'Aïn Defla, plus précisément dans le massif du Zaccar, à plus de 1000 mètres d'altitude.

Selon le découpage de l'ANRH, l'Oued Mazafran appartient au bassin Côtier Algérois de la région Algérois-Soummam-Hodna. D'après une modélisation réalisée à l'aide du logiciel SMAP pour la période 1910-1993, la moyenne des débits annuels de l'Oued Mazafran serait de 297,6 hm³/an au sud-est de Douaouda (station hydrométrique Fer à cheval) (PNE, 1998). Or, selon les données mesurées sur l'Oued Mazafran (toujours à la station Fer à cheval), le débit total moyen est maintenant réduit à 85,4 hm³/an pour différentes périodes de référence (1985-1990, 1991-1995), pour (2003-2004) entre 10 hm³ et 243 hm³ soit une moyenne de 89 hm³ pour la période de (1981 à 2006). Il est à noter que depuis 1986, le barrage El Moustakbal (Bouroumi) qui est situé sur l'Oued Bouroumi (tributaire de l'Oued Djer, lui-même l'un des principaux affluents de l'Oued Mazafran), régularise un débit de 98 hm³/an pour irriguer la plaine de la Mitidja ouest (MATET 2010).

III-A-8 Le réseau hydrographique :

La formation du réseau hydrographique est fortement conditionnée par les facteurs caractéristiques des terrains traversés par les différents oueds. Ainsi la lithologie intervient sur le degré de ramification des oueds.

III-1-9 Occupation du sol

L'importance de connaître la couverture du sol est un aspect fondamental qui détermine beaucoup de variables environnementales dont on doit tenir compte pour le calibrage et l'ajustement d'un bilan hydrique de la région hydrographique.

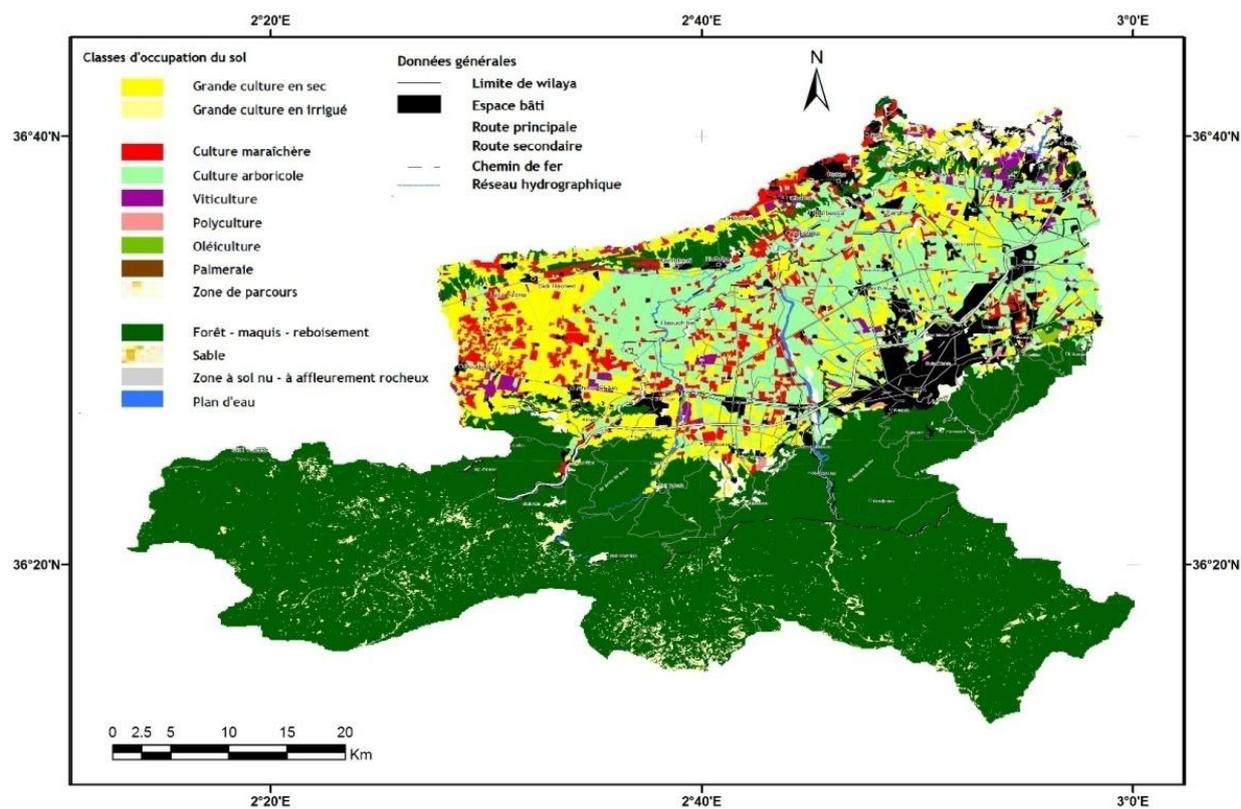


Figure III.10 Carte d'occupation du sol

III-1-10 Couvert végétal de la zone d'étude :

La zone d'étude est à vocation agricole avec une diversité bien distinguée, on y trouve des vignes, des agrumes, les cultures annuelles et saisonnières.

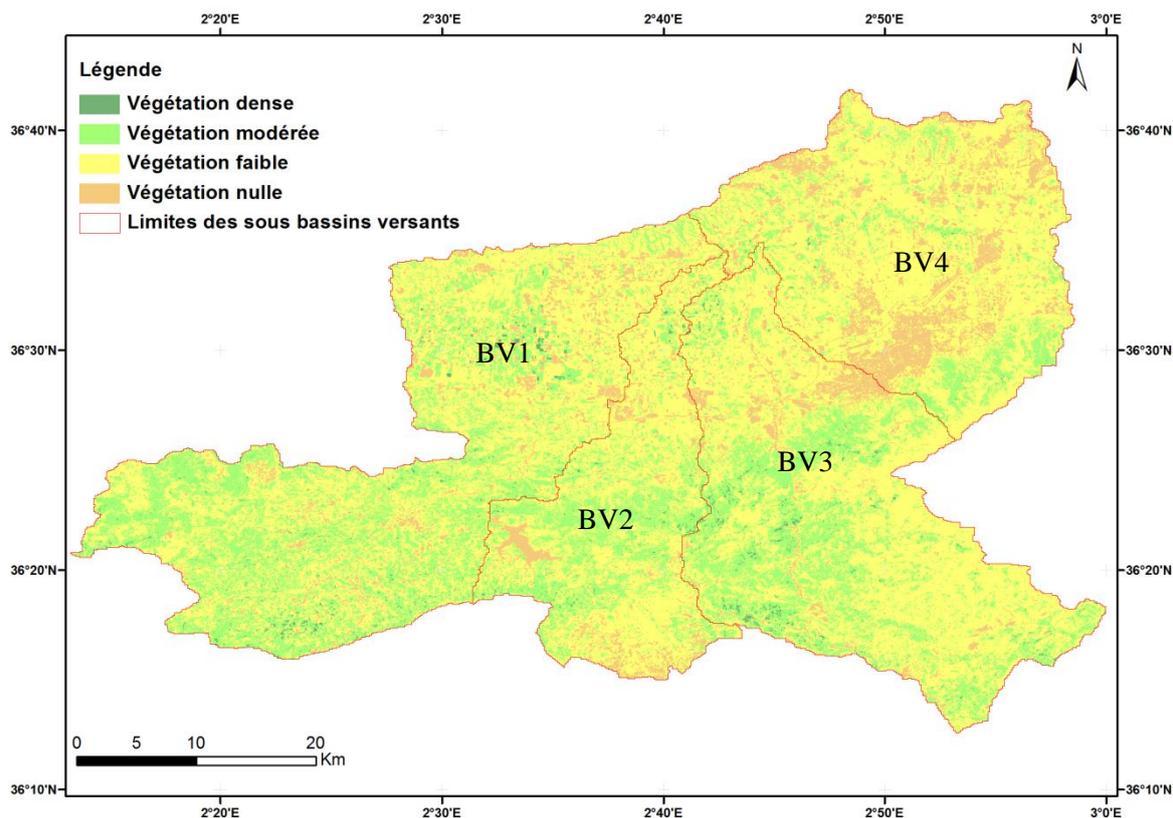


Figure III.11 Carte de la végétation du bassin versant du Mazafran

Tableau III.4 Végétation par sous bassins

Sous bassin	Végétation modérée	Végétation faible	Végétation dense	Végétation nulle	surface totale (km ²)
BV1	232.84	354.87	5.90	46.84	640.45
BV 2	90.43	170.82	1.86	28.26	291.38
BV 3	164.69	327.91	5.72	34.72	533.03
BV 4	60.73	305.66	0.54	89.11	456.04

Tableau III. 5 Pourcentage de répartition de la végétation par sous bassin

Sous bassin	Végétation modérée	Végétation faible	Végétation dense	Végétation nulle	surface totale (%)
BV1	36%	55%	2%	7%	100%
BV2	31%	59%	1%	9%	100%
BV3	30%	62%	1%	7%	100%
BV4	13%	67%	0%	20%	100%

Cette répartition a permis de calculer le coefficient de ruissèlement pour chaque sous bassin versant, pour l'introduire dans le modèle WEAP .

III-2 Etat des lieux des ressources en eau

III-2-1 Etat potentiel des ressources en eau

Les données nécessaires pour mener à bien le travail, deux catégories se distinguent: les ressources entant qu'entrée (input) et les besoins entant que sortie (output). L'environnement WEAP a besoin de l'information existante relative à ces deux catégories sont présentées d'une manière détaillée.

III-2-2 Ressources en eaux superficielles

on y recense en matière d'infrastructure de mobilisation deux barrages en exploitation ,qui sont : Boukerdène et Bouroumi avec les caractéristiques suivantes :

Barrage de Boukerdène

Le barrage Boukerdane est implanté sur Oued El Hachem dans la wilaya de Tipaza à 1km au sud de la ville de Sidi Amar, la construction a débutée en 1986 pour s'achever en 1992. C'est un barrage en terre de 74,41m de hauteur et de 609,98m de longueur, il reçoit les eaux du bassin d'Oued El Hachem en plus des eaux d'Oued Nador à partir d'une prise d'eau, qui peut transférer 20 Hm³ en période de crues. Il est destiné à l'AEP des villes de Cherchell Tipaza et Alger en plus de l'irrigation du périmètre Mitidja Ouest (Ammari 2012).

Les principales caractéristiques du barrage sont (source ANBT 2010)

- Capacité initiale : 97 Hm³.
- Capacité au dernier levé (2004) : 104,99 Hm³.
- Apport moyen annuel : 35 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,21 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 156 km².



Figure III.12 Digue du barrage Boukerdane (Ammari 2012).



Figure III.13 Image satellite du lac du barrage de Boukerdane (Ammari 2012).

Barrage de Bouroumi

Le barrage de Bouroumi est situé dans la wilaya de Blida à 8km à l'Est de Boumedfaa sur l'Oued Bouroumi, qui est un affluent du Mazafran.

La construction a débutée en 1979 pour s'achevée en 1985. C'est un barrage en terre de 98m de hauteur et 340m de longueur. En plus des eaux de son bassin il a été renforcé par la prise de Oued Chiffa qui transfert l'eau via une galerie. Il est destiné principalement à l'irrigation des la Mitidja Ouest ainsi qu'a l'AEP de Boumedfaa, Hammam Righa et Alger.(Ammari 2012)

- Capacité initiale : 188 Hm³.
- Capacité au dernier levé (2004) : 181,96 Hm³.
- Apport moyen annuel : 26 Hm³.
- Envasement moyen annuel : 0,8 Hm³/an.
- Surface du bassin versant : 150 km².



Figure III.14: Barrage de Bouroumi (Ammari 2012).



Figure III.15: Image satellitaire du lac du barrage de Bouroumi (Ammari 2012)

III-2-3 Ressources en eaux souterraines:

Les potentialités des eaux souterraines du bassin du Mazafran représentent une très grande partie de la Mitidja soit 328 Hm³ (ABH 2000), Cette partie de la nappe est alimentée par son impluvium propre (infiltration directe), par les Oueds Chiffa et Bou-Roumi et l'Astien sous-jacent (PAC 2004). Ce dernier alimente la nappe soit par ses affleurements qui constituent d'excellentes zones d'alimentation soit par drainance à travers les marnes d'El Harrach (PAC 2004). La vidange de la nappe se fait par évapotranspiration par l'intermédiaire des limons. La nappe est exploitée par deux importants champs captants, le Mazafran I et le Mazafran II, pour l'alimentation des la villes concernées (PAC 2004).

III-2-4 Ressources en eau non conventionnelles

a) Dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau de mer constitue une option prioritaire pour l'état pour :

- Assurer le renforcement et la sécurisation des besoins en eau potable de la population par la construction d'usines de dessalement.
- Permettre le développement des options de transfert et de réaffectations des masses d'eau conventionnelles.

Pour notre région d'étude une seule station de dessalement qui est actuellement fonctionnelle est celle de Fouka, la capacité actuelle est de 120.000 m³/jour elle est destinée pour l'alimentation d'Alger avec 30.000 m³/jour et Tipaza avec le même volume dont 17 communes de cette dernière sont actuellement alimentées (SEAAL 2016).

b) Recyclage des eaux usées

Pour les ressources en eau mobilisables, il faut aussi tenir compte des possibilités de réutilisation des eaux usées épurées.

Pour le bassin versant de l'Oued Mazafran on 4 STEP: Koléa , Hadjout ,Tipaza et Béni Meurad.

La STEP de Chenoua, mise en service en 2008, qui prend en charge les eaux usées de Tipasa, Nador et Sidi Moussa, dispose d'une capacité de traitement de 11.200 m³/jour pour 70.000 habitants. La collecte des eaux usées et leur déversement dans la STEP de cette région balnéaire se fait à partir de l'oued Nador, à travers un réseau principal d'une longueur de 11.150 mètres linéaires, équipé de sept stations de relevage, ce qui a permis de mettre fin aux des déversements des eaux usées directement en mer et aux désagréments causés aux estivants durant l'été.

la STEP de Koléa de 3.500 m³/jour, remise en service en 2004.

la STEP de Hadjout W.Tipaza mise en service en 2007 destinée à épurer les eaux résiduaires avant rejet dans l'oued Bourkika, cette station prend en charge les rejets des villes de Hadjout, Meurad, et Arahaba. La construction et la mise en place des équipements de cette dernière permettent d'épurer les eaux usées résultants d'une population de 70.000 équivalents-habitants. Avec une capacité de traitement de 4.000 m³/jour.

la STEP de Beni Merad wilaya de Blida avec une capacité de traitement de 300.000 équivalent habitants.

Cette STEP est destinée pour la collecte des eaux usées du grand Blida (communes de : Ouled Yaich, Béni Mered, Bouarfa et Blida). Dans le cadre de son extension, il est prévu d'augmenter cette capacité pour atteindre les 383 000 Eq/ha et répondre au flux actuel et futur d'eaux usées. Cinq postes de relèvement permettent le transfert des eaux usées du grand Blida vers la station d'épuration. Les eaux traitées sont rejetées dans l'Oued Béni Mered.

III-3- Besoin en eau

III-3-1- Evaluation de la demande en eau domestique, élevage, éducation et santé:

Le bassin versant de l'Oued Mazafran s'étend sur 55 communes regroupées en cinq wilayas qui sont de l'amont vers l'aval : Aïn Defla, Médéa, Blida, Tipaza et Alger. Blida est la wilaya qui couvre la plus grande superficie du bassin versant de l'Oued Mazafran, soit 769,8 km². Pour chacune des communes présentes en partie ou en totalité dans le bassin versant. mais pour notre étude on va prendre en considération que les communes qui appartient au même temps à la plaine de la Mitidja et le bassin versant du mazafran et pour étudier l'influence de la consommation touristique sur la ressource de la plaine on a introduit la commune de Tipaza qui dispose d'un potentiel touristique et d'un patrimoine historique important (les besoins et les dotations de chaque commune des deux wilayas ainsi que pour les différentes activités et les infrastructures sociales sont consignés dans les tableaux 1 - 8 de l'annexes N°2.

III-3-2 La demande en eau pour le secteur du tourisme :

La région d'étude est une zone touristique par excellence (mer méditerranée, ruines romaines ect...) , elle constitue d'un nombre important d'infrastructures avec la plus grande partie se trouve dans la commune de Tipaza (Tableau 9 Annexe N°2):

III-3-3 La demande en eau pour le secteur agricole:

L'agriculture, est le consommateur d'eau le plus important. Il faut de grands efforts pour réduire sa demande actuelle et c'est le but d'intervention de cette politique sectorielle.

L'Etat, en qualité de gérant dans le secteur et le promoteur des actions orientées à l'usage rationnel de la ressource et l'amélioration de la productivité des exploitations agricoles (moins besoins et plus production) le tableau N° 10 de l'annexe N°2 présente les informations sur ce secteur.

Ces informations seront introduites dans le modèle WEAP comme des sites de demande, et seront nommées comme: (PI, Agriculture Blida et Agriculture Tipaza).

III-3-4 La demande en eau pour le secteur industriel:

Les infrastructures industrielles de la zone d'étude sont en grande partie situées dans la wilaya de Blida dont la demande est estimée pour l'année de référence à 10 Mm³.

Conclusion:

A travers ce chapitre on a traité la localisation de la zone d'étude, de ses caractéristiques aussi bien physiques que humaines afin de pouvoir élaborer des scénarios de développement et de gestion qui garantissent un équilibre durable entre l'eau disponible et la demande.

CHAPITRE IV :

ENVIRONNEMENT WEAP

Chapitre IV : ENVIRONNEMENT WEAP

IV-1 Introduction

Les défis de la gestion de l'eau sont de plus en plus communs. L'allocation des ressources limitées en eau entre agriculture, les utilisations municipale et environnementale, requiert maintenant une intégration de l'offre, de la demande, de la qualité de l'eau et des considérations écologiques (SEI 2011). Le système d'Evaluation et de Planification de l'Eau, ou WEAP, vise à intégrer ces éléments dans un outil pratique et robuste pour la planification des ressources en eau et l'analyse des politiques (SEI 2011).

IV-2 Présentation:

WEAP est un outil microinformatique pour la planification intégrée des ressources en eau qui tente d'assister plutôt que de remplacer le planificateur compétent. Il fournit un cadre compréhensif, flexible et convivial pour la planification et l'analyse des politiques. Un nombre croissant de professionnels de l'eau trouvent en WEAP un plus à leurs outils de modèles, de base de données, de feuilles de calcul et autres logiciels (SEI 2008, Yates et al 2005).

IV-3 Historique:

Beaucoup de régions font face à de véritables défis de gestion d'eau. L'allocation de ressources d'eau limitées, les préoccupations liées à la qualité environnementale, la planification dans le changement et l'incertitude climatiques, et le besoin de développer et de mettre en œuvre les stratégies d'utilisation durable de l'eau, sont de plus en plus pressants pour les planificateurs de ressources en eau. Les modèles conventionnels de simulation d'approvisionnement ne sont pas toujours adéquats pour explorer la gamme complète d'options de gestion (SEI 2011, Droogers et al 2011).

Au cours de la dernière décennie, une approche intégrée de développement de l'eau a émergé et qui place les projets d'approvisionnement dans le contexte de la gestion de demande, de la qualité de l'eau et de la préservation et protection de l'écosystème (SEI 2011). WEAP intègre ces valeurs dans un outil pratique pour la planification des ressources en eau et l'analyse des politiques. WEAP place les problèmes de demande comme les scénarios d'utilisation de l'eau, les efficacités de l'équipement, les stratégies de réutilisation, les coûts et les schémas d'allocation de l'eau sur une base égale avec les éléments de l'offre comme l'écoulement de la rivière, les ressources d'eau souterraine, les réservoirs et les transferts d'eau (SEI 2008).

Le fonctionnement de WEAP se fait selon les paramètres suivants (SEI 2011):

- **La base de données de l'équilibre de l'eau:** WEAP fournit un système de mise à jour de l'information sur l'offre et la demande.
- **L'outil de production de scénario:** WEAP simule la demande, l'offre, le ruissellement, les écoulements, le stockage, la production de pollution, le traitement, la décharge et la qualité de l'eau circulant.
- **L'outil d'analyse des politiques:** WEAP évalue une gamme complète d'options de développement et de gestion de l'eau et prend en compte les multiples et compétitives utilisations des systèmes d'eau.

IV-4 Approche de WEAP

WEAP est un outil informatique qui permet aux gestionnaires de l'eau d'exploiter divers scénarios gestion à l'échelle du bassin versant. cet outil informatique d'aide à la gestion comprend une base de données (spatiales et attributs), un système d'information géographique (SIG), des modèles mécanistes de simulation (hydrologie, érosion des sols et en rivières, et qualité de l'eau dans les rivières et les lacs). cet outil permet aux gestionnaire d'estimer quantitativement l'impact de différents scénarios d'aménagement du territoire (Hamlat 2013).

WEAP est aussi distingué pour son approche intégrée pour simuler non seulement les composantes naturelles (ex. les demandes d'évapotranspiration, le ruissellement, le flux de base) que des composantes d'ingénierie (ex. les réservoirs, le pompage d'eau souterraine) des systèmes d'eau. Permettant au planificateur d'accéder à une vue compréhensive de la large gamme des facteurs qui doivent être considérés dans la gestion des ressources en eau pour une utilisation présente et future (SEI 2011, Droogers et al 2011).

Un nombre croissant de professionnels de l'eau ont trouvé WEAP un ajout utile à leur boîte à outil de modèles, base de données feuilles de calculs et autres logiciels. WEAP se base sur l'analyse du bilan hydrique et tient compte de variables explicatives de natures diverses: précipitations, eaux de surface, eaux souterraines, installation de traitement, exigences des écosystèmes, demande en eau, génération de pollution, etc. La structure des données et leurs niveaux peuvent être personnalisés pour permettre des analyses particulières, et pour refléter les limites imposées par les données disponibles. Cette présentation rend WEAP applicable dans plusieurs domaines: municipal, agricole, aménagements des bassins versants, fluviaux, etc. (Droogers et al. 2011).

WEAP intègre non seulement la répartition de l'eau, mais aussi sa qualité et la préservation des écosystèmes. Ce qui lui permet de simuler une panoplie de problèmes complexes.

Avec la dernière version de WEAP (SEI 2011), il est possible de choisir parmi pour simuler des processus de bassins versants tels que l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les demandes en eau de cultures.

On distingue (1) la méthode pluie ruissellement de la FAO; (2) la méthode FAO limitée au calcul des demandes d'irrigation ; (3) la méthode dite humidité du sol, qui propose une structure de modèle à deux réservoirs représentant une couche superficielle et une couche profonde ; la méthode Mabilia, qui est basée sur la formulation de Cropwater (Yates et al. 2005, Pouget 2009, SEI 2011).

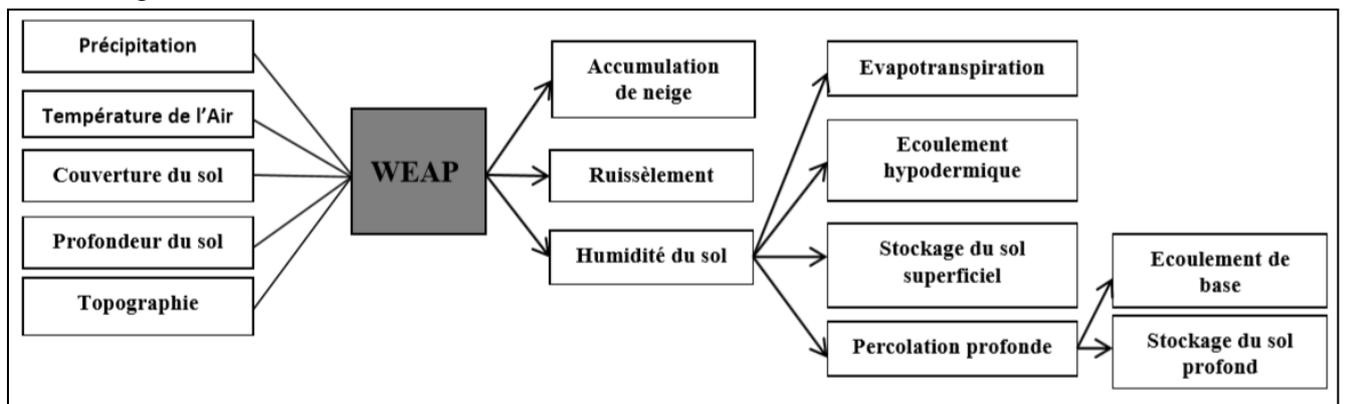


Figure IV.1 Organigramme pluie-débit dans le modèle WEAP (Sarah 2010, Hamlet 2013)

IV-5 Principaux objectifs du WEAP

WEAP place l'évaluation des problèmes spécifiques de l'eau dans un cadre global. Il intègre plusieurs dimensions : entre les besoins et l'approvisionnement, entre la quantité et la qualité de l'eau, et entre les objectifs de développement économique et les contraintes environnementales (SEI 2011).

Les objectifs de ce système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) sont :

- d'incorporer ces dimensions dans un outil pratique pour des ressources d'eau avec la projection future
- d'examiner des stratégies alternatives de développement et de gestion de l'eau
- de fournir un système de base de données pour la demande ou besoin en eau et les informations de maintien d'approvisionnement
- de prévoir certaines situations des ressources en eau en simulant la demande, les ressources exploitables, les écoulements et stockage, et les sources de pollutions, les traitements et décharges
- d'analyser le développement socio-économique en évaluant une gamme complète des options de développement et de gestion de l'eau, et en tenant compte des utilisations multiples et concurrentes des systèmes aquatiques.

IV-6 Caractéristique du modèle WEAP:

IV-6-1 Modélisation hydrologique à base physique:

Le modèle WEAP comprend un modèle de bilan hydrique. Il peut rendre compte des processus hydrologiques dans le système de bassin versant et permet de capturer les effets de multiplication et non-linéaire des prélèvements d'eau pour différents usages (Hamlat 2013).

D'après (Yates et al 2005), la gestion des ressources en eau dans le modèle WEAP repose sur l'utilisation d'outils de modélisation hydrologique qui simulent les processus physiques tels que les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissèlement et l'infiltration (figure IV.2a. le pré-développement). Après la construction des ouvrages hydrauliques comme les barrages et les dérivation (figure IV.2b , l'après développement) ,les facteurs liés au système de gestion doit également être pris en considération. Ces systèmes ont été mis en place pour régir l'attribution de l'eau entre les demandes concurrentes, qu'ils soient consommés, comme la demande d'approvisionnement en eau agricole ou urbaine ou demande non consommatrice de production hydroélectrique ou de protection des écosystèmes.

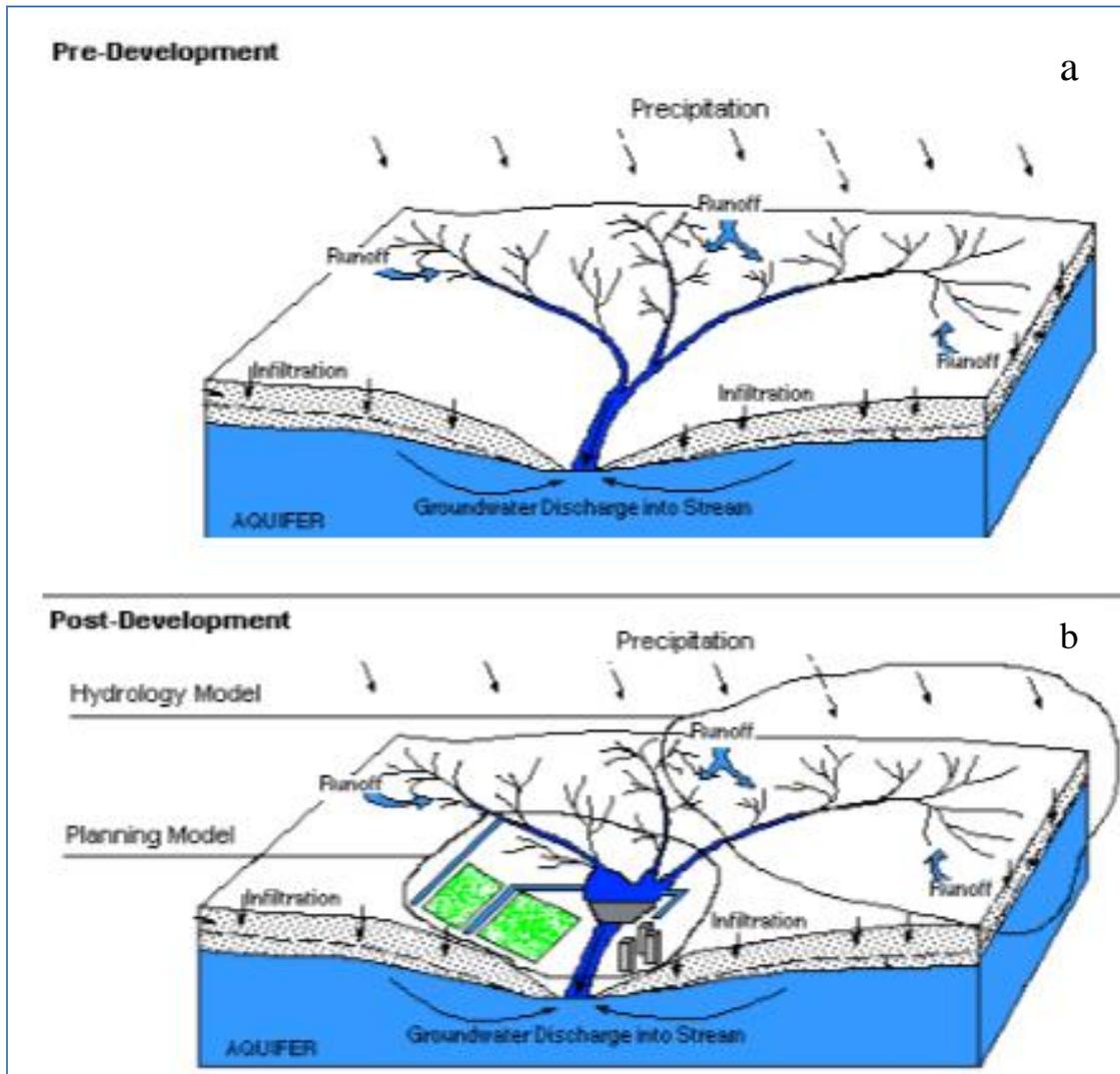


Figure IV.2 Caractérisation de (a) l'avant et (b) l'après développement du bassin versant qui met en évidence les conséquences de l'infrastructure des ressources en eau sur le cycle hydrologique (Yates et al, 2005a)

La composante de la modélisation dans le WEAP a été développée pour tenir compte de deux différentes réalités hydrologiques, la première est la notion des précipitations dans les sous bassins situés dans la partie amont des bassins versants avec une topographie complexe, c'est à dire des pentes raides (Yates et al 2005). Sachant que les collines et les vallées abruptes contribuent aux écoulements de base des eaux souterraines, celles-ci desservent la rivière drainante (gaining stream) en toute période de l'année, avec une période de temps relativement courte ((Winter et al, 1998; Winter, 2001; Eckhardt and Ulbrich, 2003; Burness et al, 2004).

A l'inverse, les sous bassins situés dans les parties aval des bassins versants dont le terrain est généralement plat, ont tendance à contribuer à des aquifères alluviaux qui sont directement liés au système de la rivière.

De ce fait ils peuvent contribuer à des flux de rivière drainante «gaining stream», et à partir duquel ils peuvent recevoir des infiltrations (rivière infiltrante «losing stream»), selon des conditions hydrologiques (Yates et al 2005).

Ces systèmes d'eaux souterraines peuvent également fournir un stockage à partir duquel les utilisateurs peuvent puiser de l'eau pour satisfaire les demandes (Figure IV-3.). Ce schéma montre un bassin versant divisé en deux sous-bassins. SC-1 est un bassin versant, sans interaction entre l'eau de surface et l'eau souterraine et ainsi applique les deux modèles du bilan hydrique «bucket». SC-2 qui est caractérisé comme étant dans une zone de la vallée, où l'hydrologie de surface s'applique au seul «bucket» du bilan avec recharge à un aquifère alluvial sous-jacent qui comme interaction eau souterraine-eau de surface (Yates et al 2005).

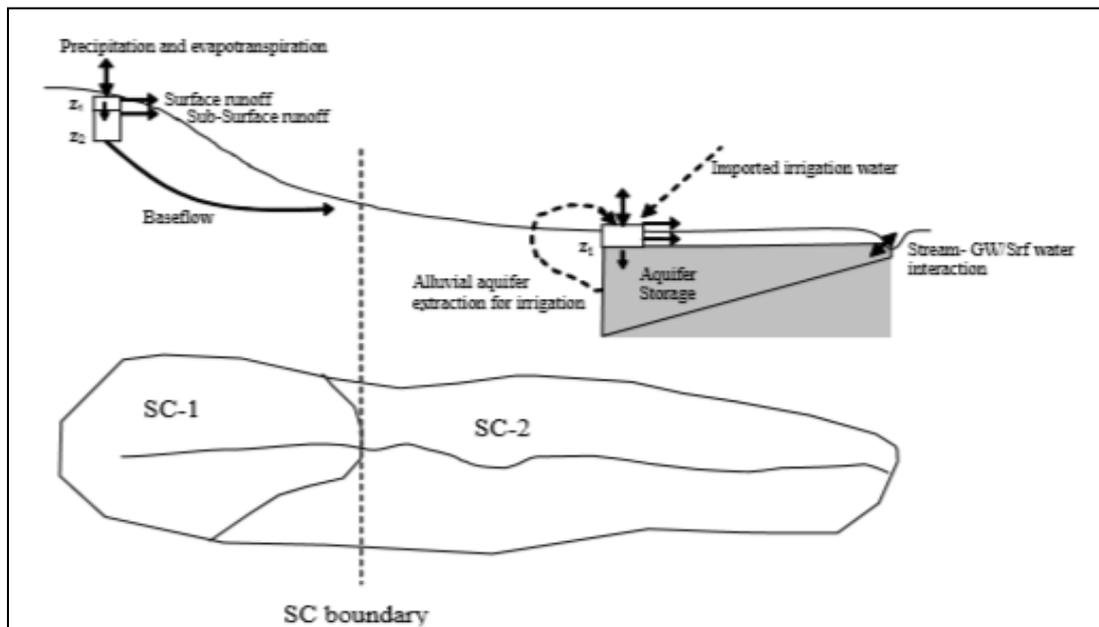


Figure IV.3 La composante de l'hydrologie physique dans le WEAP 21 avec les différentes réalités hydrologiques (Yates et al. 2005a)

IV-6-2 Modélisation des eaux de surface dans le WEAP

Le modèle d'hydrologie physique est constitué de plusieurs composantes conceptuellement simples qui sont combinés pour être efficaces sur le plan des calculs, mais avec suffisamment de spécificité pour capturer les processus hydrologiques importants et résoudre les principaux problèmes de ressources en eau. Pour un pas de temps donné, le module de l'hydrologie dans le WEAP est d'abord exécuté pour mettre à jour l'état hydrologique du bassin versant, et fournit donc des constantes d'équilibre du bilan utilisées dans le problème d'allocation linéaire pour une seconde procédure au cours de la même étape de temps (Yates et al 2005).

La figure IV.4 montre les composantes de ce modèle conceptuel qui permettent la caractérisation de l'utilisation du sol et / ou des impacts spécifiques du type de sol sur le ruissellement et la recharge des eaux souterraines. Un bassin versant est d'abord divisé en sous-bassin versant (S.C), puis divisé en N zones fractionnaires, où un bilan hydrique est calculé pour chaque zone fractionnaire, j du sous bassin N. Le climat est supposé uniforme sur chaque zone fractionnaire où une équation de bilan massique continue est écrit comme suit (Yates et al 2005) :

$$Sw_j \frac{dz_{1j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1j} - 2z_{1j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1j}^{\frac{LA_j}{2}} - f_j k_j z_{1j}^2 - (1 - f_j)k_j z_{1j}^2 \quad (IV.1)$$

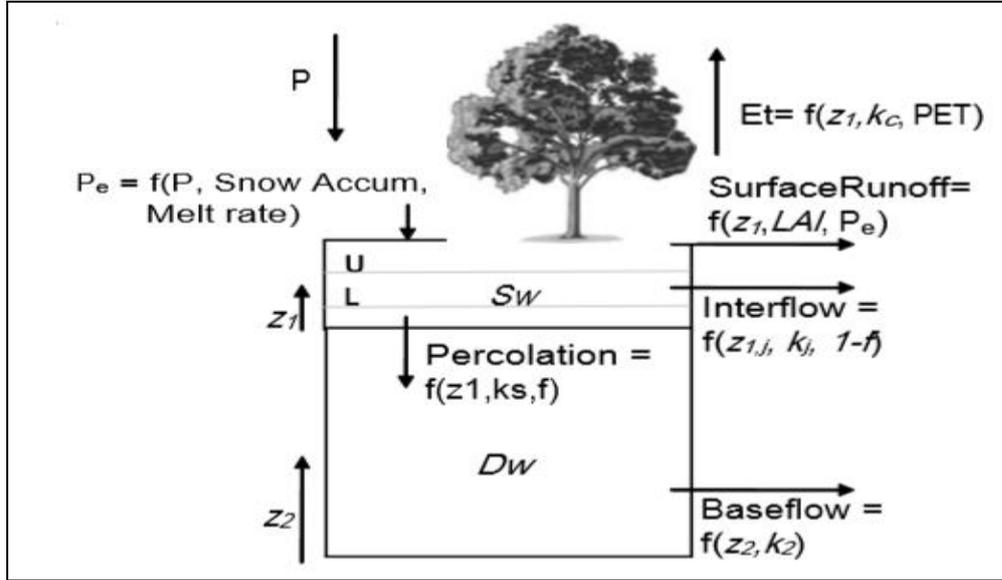


Figure IV.4 Schéma des deux couches du stockage de l'humidité du sol, montrant les différentes entrées et sorties hydrologiques pour une couverture du sol ou un type de culture, j (Yates et al, 2005a).

Avec (z_{1j}) , le stockage relatif de l'eau du sol est donné comme une fraction du stockage efficace et total et varie entre 0 et 1, où 0 représente le point de flétrissement permanent et 1 la capacité de rétention en eau du sol. Le stockage effectif total de la couche supérieure est estimé par une estimation de la capacité de rétention en eau du sol (S_{wj} en mm); elle est prescrite pour chaque fraction de couverture de sols, j (Yates et al 2005).

Les données concernant la couverture de la neige ne sont pas exigées si le bassin versant n'est pas exposé à la neige. WEAP détermine l'apparition de la neige sur la base de la température et des paramètres du point de gel et de la fonte. Si ces deux paramètres sont laissés la neige ne sera pas autorisée à s'accumuler (Yates et al 2005). Le modèle estime l'équivalence de l'eau de la neige et la fonte des neiges d'un manteau neigeux accumulé dans le sous-bassin versant, où (m_c) est le coefficient de fonte de neige est donné comme suit:

$$m_c = \begin{cases} 0 & T_i < T_s \\ 1 & \text{if } T_i < T_l \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & T_s \leq T_i \leq T_l \end{cases} \quad (IV.2)$$

Avec:

T_i la température observée pour la période i, et T_l et T_s sont des seuils de température de fonte et de gel, avec le taux de fonte est donné comme suit:

$$m_i = \min(Ac_i m_c, Em) \quad (IV.3)$$

L'accumulation de neige, Ac_i est une fonction de m_c et la précipitation totale observée, P_i

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1 - m_c)p_i - m_{i-1} \quad (IV.4)$$

Où : E_m est l'énergie de fonte disponible convertie en une profondeur / temps d'eau équivalent. La précipitation effective, P_e est alors calculée comme suit:

$$p_e = p_i m_c + m_r \quad (IV.5)$$

Le deuxième terme de l'équation (1) est l'évapotranspiration à partir de la zone fractionnaire, où le ETP est l'évapotranspiration potentielle de référence de Penman-Montieth donnée en mm / jour et k_{c_j} est le coefficient de culture / plante pour chaque couverture du sol fractionnaire. Lorsque le modèle est exécuté avec des pas de temps plus longs, le ETP est redimensionné à une profondeur / temps appropriée (Allen et al, 1998).

Selon Yates et 2005, le troisième terme représente le ruissellement de surface, où LAI est l'indice de surface des feuilles et des tiges (LAI), les valeurs LAI_j les plus basses étant attribuées à la classe de couverture du sol, comme les sols nus. Le troisième et quatrième terme sont l'écoulement hypodermique et la percolation profonde respectivement, où le paramètre k_j est une estimation de la conductivité de stockage supérieure (mm / temps) et f_j est un paramètre d'accord quasi-physique lié au sol, au type de couverture du sol et à la topographie qui fractionne l'eau horizontalement, f_j ou verticalement (1- f_j).

Les apports d'écoulement de surface et l'écoulement hypodermique dans le stockage supérieur, R_o de chaque sous-bassin à l'instant (t) est donné par la formule suivante:

$$Ro(t) = \sum_{j=1}^N A_j \left(P_e(t) z_{1,j}^{\frac{LAI_j}{2}} + f_j k_j z_{1,j}^2 \right) \quad (IV.6)$$

Où: A_j est la zone contributive de chaque classe de couverture du sol (j). Pour les sous-bassins sans aquifère modélisé (figure IV.3), un bilan hydrique pour le second stockage est donné comme suit:

$$Dw \frac{dz_{2,j}}{dt} = (1 - f_j) k_j z_{1,j}^2 - k_j z_{2,j}^2 \quad (IV.7)$$

Où l'écoulement vers ce stockage profond est la percolation profonde à partir du stockage supérieur donné dans l'équation 1, et k_2 est le taux de conductivité du stockage inférieur (mm / temps) qui est donné comme valeur unique pour le bassin versant, et Dw est la capacité de stockage en eau profonde (mm). Les équations 1 et 7 sont résolues en utilisant un algorithme Runge-Kutta de quatrième ordre (Chapra et Canale 1998). Le débit de base est simplement donné par la formule suivante:

$$Bf(t) = \sum_{j=1}^N A_j (k_2 z_{2,j}^2) \quad (IV.8)$$

Lorsqu'un aquifère alluvial est introduit dans le modèle (Figure IV.3), le second terme de stockage est baissé et rechargé à partir du sous-bassin versant. Celui-ci représente dans ce cas le terme de percolation à partir du stockage maximum vers l'aquifère, P (Vol / temps)

$$P = \sum_{j=1}^N A_j (f_j k_j z_{1,j}^2) \quad (IV.9)$$

IV-6-3 Interaction eau souterraine-eau de surface

Les eaux de surface et les eaux souterraines sont reliées dynamiquement, car lorsque les eaux souterraines sont épuisées, un cours d'eau contribue à la recharge de l'aquifère (losing stream), tandis qu'un cours d'eau est considéré comme drainant quand il y a un rechargement important de l'aquifère. Dans ce cas, le débit et l'aquifère se dirigent vers la rivière. L'eau de l'agriculture irriguée peut compliquer la situation plus loin, puisque l'eau peut être extraite du cours d'eau, pompée de l'aquifère local, ou même importée de l'extérieur du bassin, et ainsi épuiser et recharger l'aquifère (Liang et al. 2003; Winter 2001).

Le module des eaux souterraines implantées dans le modèle WEAP permet le transfert dynamique de l'eau entre le cours d'eau et l'aquifère (Figure IV.5). Dans WEAP, l'aquifère est un morceau stylisé supposé symétrique par rapport à la rivière, avec un stockage total de l'aquifère estimé sous l'hypothèse que la nappe phréatique est en équilibre avec la rivière. Ainsi, le stockage à l'équilibre d'un côté du morceau, (GS_e) est donné comme suit:

$$GS_e = h_d * l_w * A_d * S_y \quad (IV.10)$$

où h_d (m) représente la distance normale qui s'étend horizontalement du cours d'eau, l_w (m) est la longueur mouillée de l'aquifère en contact avec le cours d'eau, S_y est le rendement spécifique de l'aquifère et A_d est la profondeur de l'aquifère à l'équilibre. Une estimation de la hauteur de l'aquifère au-dessus ou au-dessous de la hauteur de stockage à l'équilibre est donnée par y_d , de sorte que le stockage initial GS dans l'aquifère à $t=0$ est donné comme suit,

$$GS(0) = GS_e + (y_d * h_d * l_w * S_y) \quad (IV.11)$$

La hauteur verticale de l'aquifère au-dessus ou au-dessous de la position d'équilibre est donnée:

$$y_d = \frac{GS - GS_e}{(h_d * l_w * S_y)} \quad (IV.12)$$

Plus l'aquifère s'élève par rapport au canal, plus l'infiltration dans le cours d'eau est importante et inversement, où l'infiltration totale, S , d'un côté de la rivière (m^3 / heure) est définie par:

$$S = \left(K_s * \frac{y_d}{h_d} \right) * l_w * d_w \quad (IV.13)$$

où K_s (m / temps) est une estimation de la conductivité hydraulique saturée de l'aquifère, et d_w (m) est une estimation de la profondeur mouillée du cours d'eau, qui est supposée constante dans le temps. La profondeur mouillée, ainsi que la longueur mouillée, se rapproche de la zone à travers laquelle les échanges entre la rivière et les eaux souterraines peuvent avoir lieu, et la conductivité hydraulique saturée contrôle la vitesse à laquelle l'eau se déplace vers cette zone. Une fois l'infiltration estimée, la moitié du stockage total de l'aquifère pour le pas de temps actuel est donnée par la formule suivante :

$$GS(i) = GS(i - 1) + (1/2 P - 1/2 Ex - S) \quad (IV.14)$$

où E est l'eau prélevée de l'aquifère pour répondre aux demandes, et R est la recharge contributive du bassin versant (équation 8), et le stockage total de l'aquifère est simplement estimé par $2GS(i)$.

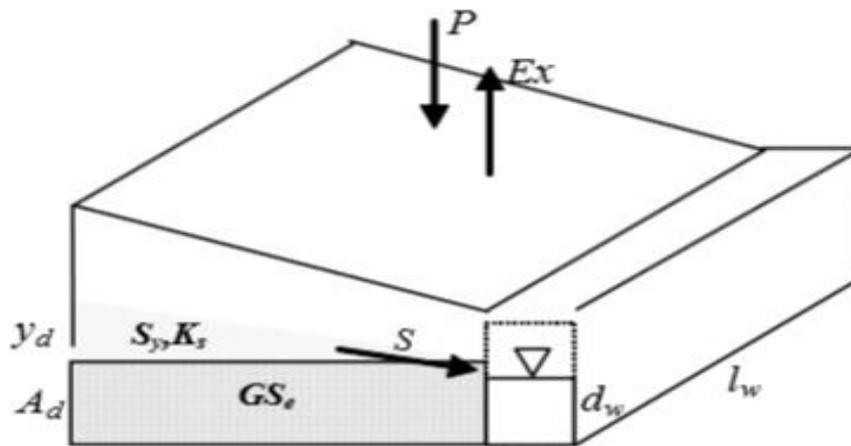


Figure IV-5 Schéma du système d'eau souterraine stylisée , et ses variables connexes (Yates et al. 2005a)

IV-6-4 Agriculture irriguée:

Selon Yates et al, la demande associée à l'agriculture irriguée partage le même modèle hydrologique de surface que la demande de bassin versant associée à l'évapotranspiration de la couverture naturelle du sol. Un sous-bassin peut être désigné comme contenant des fractions de l'occupation du sol irriguée, auxquelles sont ensuite assignés des seuils d'irrigation supérieur et inférieur, U_j et L_j pour la culture j (Figure IV-4). Ces seuils dictent à la fois le moment et la quantité d'eau pour l'irrigation, car l'évapotranspiration et la percolation des cultures appauvrissent l'eau disponible du stockage de la zone supérieure, Z_{ij} . Ces seuils sont désignés par les lignes pointillées du stockage de l'humidité du sol supérieur prescrit pour chaque type agricole comme indiqué dans la figure 4. Lorsque l'humidité relative du sol, z_{ij} descend en dessous de L_j , cela déclenche une demande d'irrigation pour la zone fractionnaire,

$$IID_j = C_{pj} * A_j [(UT_j - Z1_{1,j}) * Sw_j] \quad (IV.15)$$

Où C_{pj} est une variable entière variable dans le temps, utilisée pour prescrire le modèle de culture pour chaque culture j , en utilisant l'interface graphique du modèle WEAP (GUI WEAP 21 tool). La demande totale d'irrigation pour chaque sous-bassin récepteur est tout simplement présentée par la formule suivante :

$$TID = \sum_{j=1}^N ID_j \quad (IV.16)$$

Les sous-bassins versants avec irrigation nécessitent une source d'eau pour répondre à cette demande et ces sources sont identifiées dans WEAP en utilisant la capacité de glisser-déposer pour relier les sources d'eau à l'emplacement de demande d'irrigation approprié.

IV-6-5 Système de gestion: le module d'allocation

Le point de départ dans l'analyse de la gestion de l'eau dans le modèle WEAP est le développement des demandes de bassins versants. Chaque demande est affectée à une priorité définie par l'utilisateur étant donné comme un entier allant de 1 (la priorité la plus élevée) à 99 (la priorité la plus basse). Chaque demande est ensuite liée ces sources d'approvisionnement disponibles. la préférence de chaque source d'alimentation est fixée pour chaque site de demande. cela se fait selon la nature de l'eau disponible dans la région, (par exemple: Le site préfère s'approvisionner en eau à partir d'une source d'eau souterraine ou d'eau de surface) (Yates et al 2005).

La priorité de la demande peut être n'importe quel chiffre entre 1 et 99 (99 est une valeur par défaut) et permet à l'utilisateur de spécifier l'ordre de satisfaction de la demande en eau des sites de demande. WEAP va tenter de satisfaire les exigences en eau des sites de demande avec un priorité égale à 1 avant les sites de demande avec une priorité égale à 2 ou supérieure. Si deux sites de demande présentent la même priorité, WEAP va tenter de satisfaire leurs exigences en eau équitablement. Les valeurs absolues n'ont pas de signification pour les niveaux de priorité ; seulement l'ordre relatif à un sens. Par exemple, s'il y'a deux sites de demande, le même résultat sera obtenu si les priorités de la demande sont 1 et 2 ou 1 et 99 (SEI 2008).

Les priorités de la demande permettent à l'utilisateur de représenter dans WEAP l'allocation de l'eau comme elle est dans leurs systèmes. Par exemple, un fermier en aval doit avoir un droit historique à l'eau d'une rivière, bien qu'un autre site de demande situé en amont puisse extraire l'eau à volonté, laissant le fermier avec peu d'eau en absence de ces droits à l'eau. Le paramétrage des priorités de la demande permet à l'utilisateur de fixer la priorité de la Demande en Eau du fermier en dessus de celle du site de demande en amont. Les priorités de la demande peuvent aussi changer en fonction du temps ou changer dans un scénario (SEI 2008).

Le réseau offre-demande est construit et optimisé. Les demandes sont définies par l'utilisateur, mais comprennent généralement la demande municipale et industrielle, les besoins en irrigation de certaines parties du bassin hydrographique et les exigences de débit dans le cours d'eau.

IV-6-6 Besoins en eau

La structure des données de la demande en eau peut être adaptée pour répondre aux besoins spécifiques, basées sur la disponibilité des données. Les types d'analyses que l'utilisateur mène et ces préférences unitaires. Dans la plus part des cas, les calculs de la demande en eau sont basés sur une comptabilité désagrégée pour diverses mesures de l'activité sociale et économique. On peut citer quelques exemples: nombre de ménages, taux d'utilisation de l'eau par ménage, hectares d'agriculture irriguée, activité industrielle et commerciale, taux d'utilisation de l'eau (Yates et al 2005).

Ces cas sont agrégés et appliqués dans le schéma d'allocation au niveau du site de la demande.

Les niveaux d'activités sont multipliés par les taux d'utilisation de l'eau de chaque activité et chacun peut ainsi être individuellement projeté dans l'avenir en utilisant une variété de techniques, allant de l'application de simple taux de croissance exponentiels ou des fonction d'interpolation à l'utilisation de modélisation sophistiquées qui tirent partie du modèle WEAP intégré dans les capacités de modélisation via un générateur d'expressions (Yates et al 2005).

IV-6-7 Modélisation des réservoirs:

Rappelons que le modèle effectue des simulations du fonctionnement hydraulique de la retenue, au pas à pas du temps mensuel. WEAP permet la modélisation d'une gestion avancée des retenues d'eau à travers la définition de plusieurs zones qui présentent différentes contraintes de gestion (Figure IV-5) (SEI 2008).

La courbe « Volume-Altitude » est utilisée à la fois pour modéliser la surface du plan d'eau pour l'évaporation et pour le calcul de la charge lorsque la production de l'énergie électrique est simulée. Pour transformer le volume et l'altitude en surface, il est supposé une couche d'eau cylindrique. Le calcul de l'évaporation nette nécessite la prise en compte des précipitations et de l'évaporation. Elle peut ainsi être un nombre positif ou négatif. Les variations mensuelles peuvent être modélisées en utilisant l'« Assistant Séries temporelles Monthly » (SEI 2008). Il est représenté dans le schéma suivant:

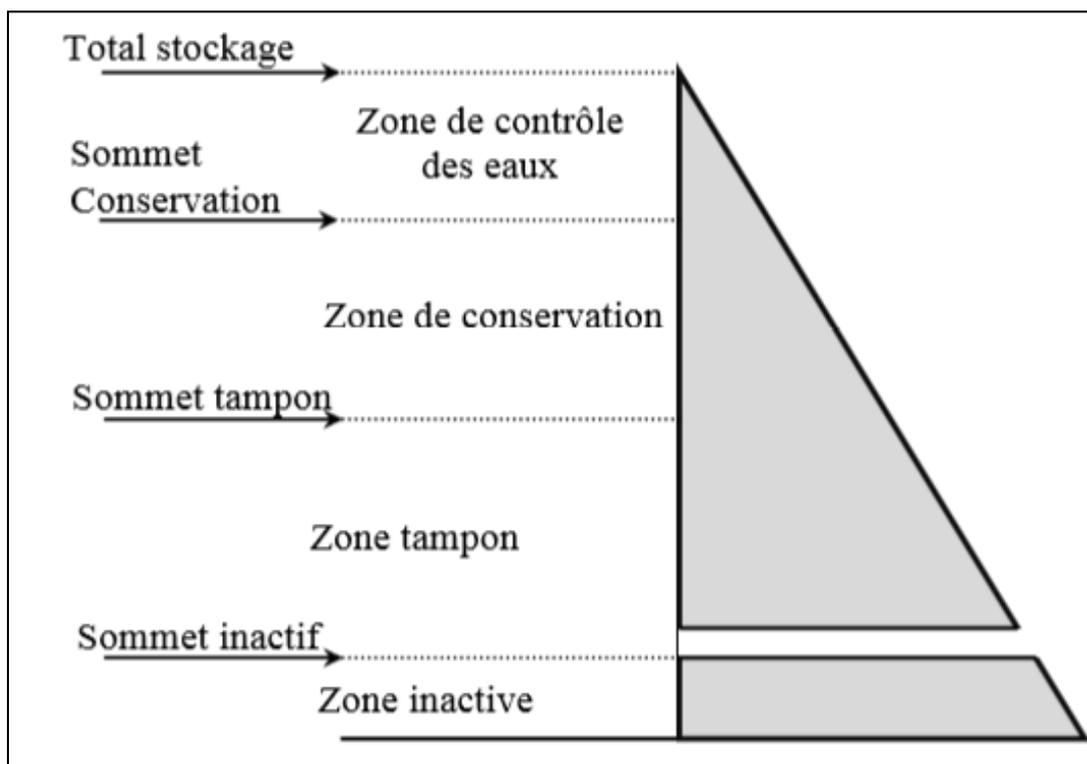


Figure IV.6 Les différents volumes de stockage des réservoirs utilisés pour décrire les politiques d'exploitation des réservoirs (Yates et al.2005)

Le coefficient tampon offre un moyen de régulation de la fourniture de l'eau lorsque le niveau de l'eau dans la retenue en amont est dans la zone tampon. La demande en aval est multipliée par le coefficient tampon pour obtenir la fourniture de l'eau actuelle. Ainsi, un coefficient tampon égal à 1 signifie que la fourniture de l'eau est égale au besoin pour couvrir la demande aval (en d'autres termes, la zone tampon est une simple extension de la zone de conservation). Un coefficient tampon égal à 0 signifie qu'aucune eau n'est fournie. Ceci explique le faible recouvrement du site de demande observé avec le scénario « Changement du coefficient tampon » (SEI 2008).

La quantité disponible pour être libérée du réservoir, (S_r) est la quantité totale dans les zones de conservation et de contrôle des inondations et une fraction (définie par b_c) de la quantité dans la zone tampon, $S_r = S_c + S_f + (b_c * S_b)$ (SEI 2008).

IV-7 Structure du programme:

WEAP se possède cinq présentations principales : représentation cartographique et graphique, affichage des données et des résultats, présentation des notes et observations. Ces affichages sont présentés par des icônes graphiques sur la "barre d'affichage" située à côté gauche de l'écran. En cliquant sur l'une de ces icônes, une présentation voulue est affichée. Ces cinq affichages sont présentés ci-dessous (Figure IV-6, a, b, c, d, e).

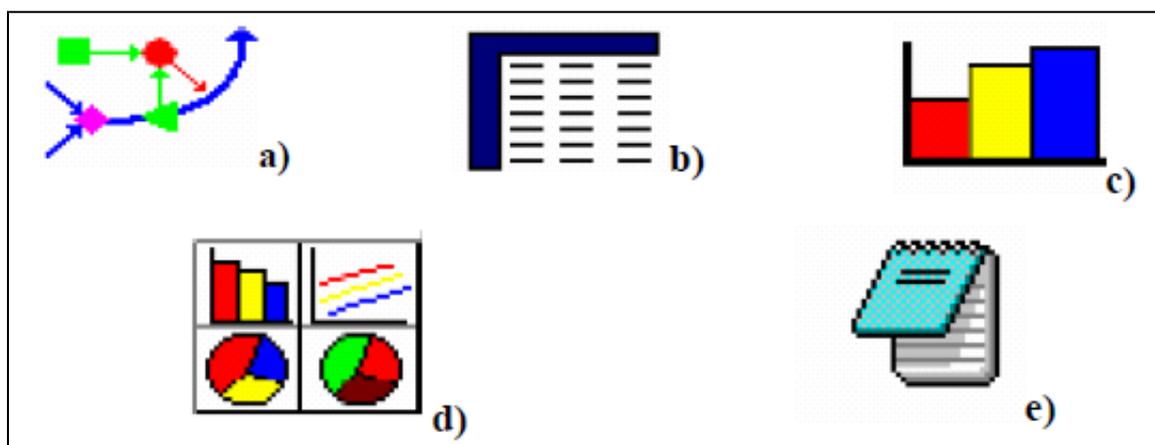


Figure IV.7 Les cinq affichages du modèle WEAP

IV-7-1 Présentation schématique :

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

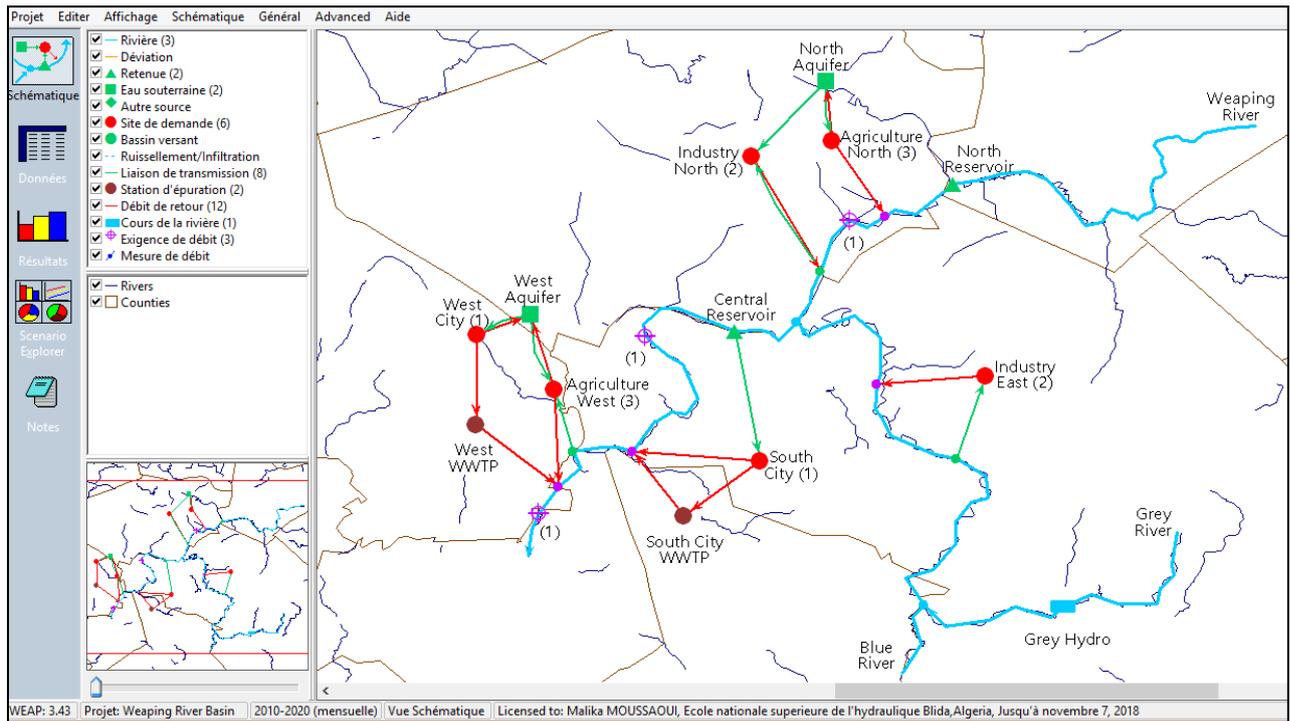


Figure IV.8 Interface WEAP - exemple de vue schématique (SEI 2008)

IV-7-2 Affichage de données

C'est l'endroit pour la création des structures du modèle de notre système, en entrant les données, les hypothèses, les relations de modélisation et la documentation pour les comptes courants et pour chaque scénario. L'écran est divisé en quatre volets (marqués par des cases rouges dans la figure ci-dessous):

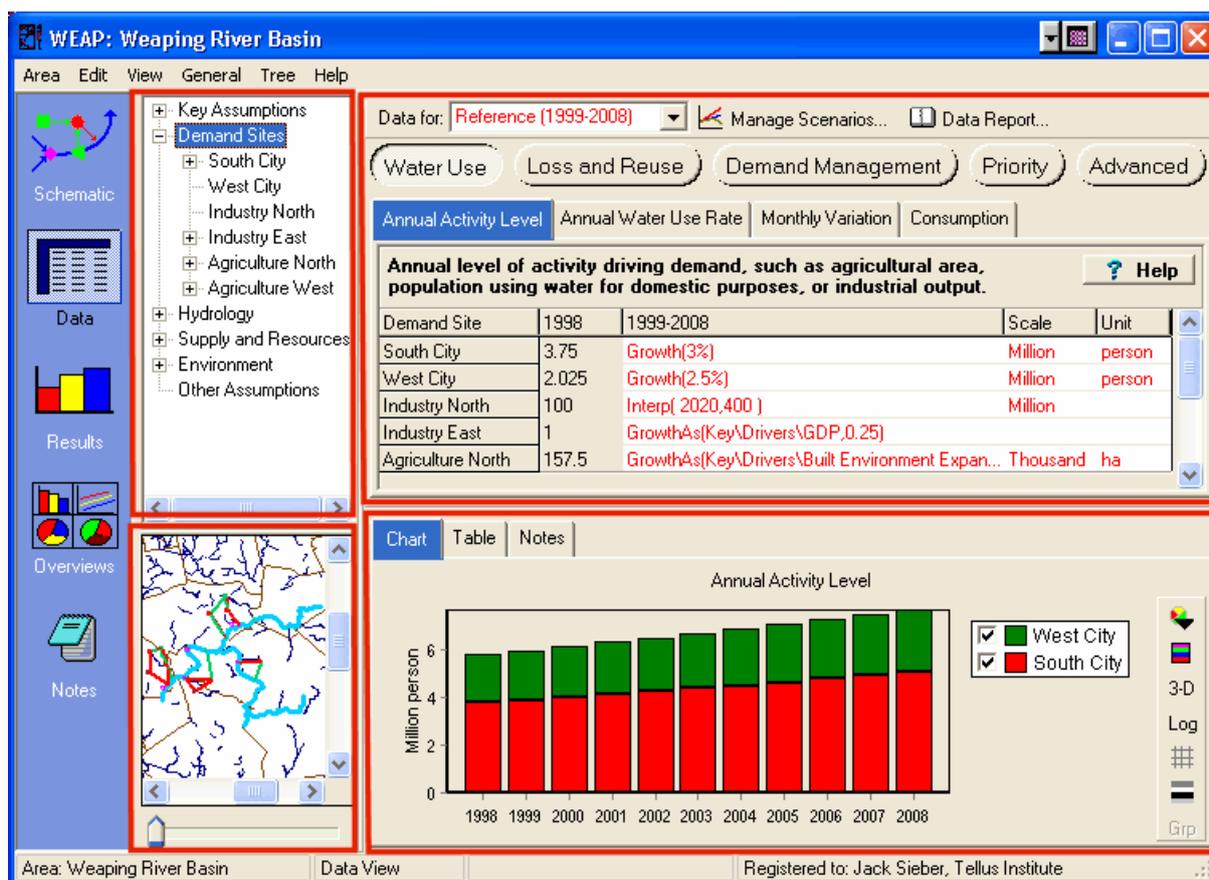


Figure IV.9 WEAP - Exemple de fenêtre de données (SEI 2008).

En haut à gauche, un arbre hiérarchique est utilisé pour créer et organiser des structures de données sous six catégories principales: hypothèses clés, sites de demande, hydrologie, approvisionnement et ressources, environnement et autres hypothèses. L'arbre est également utilisé pour sélectionner les données à éditer, qui est affiché sur la droite de l'écran. Par exemple, en cliquant sur la branche d'arbre "Sites de demande" sur la gauche de l'écran, les données de tous les sites à la demande s'afficheront à droite de l'écran (SEI 2008).

La vue de données permet la création de variables et les relations, insérer des hypothèses et projections en utilisant des expressions mathématiques, et dynamiquement liées à Excel pour l'importation et l'exportation de données (SEI, 2005).

IV-7-3 Présentation des résultats :

Une fois les données de notre région sont introduites dans le modèle, on clique sur la vue Résultats. WEAP peut exécuter sa simulation mensuelle ou annuelle et présenter des projections de tous les aspects de notre système, y compris les besoins et la couverture du site, le débit, la satisfaction des besoins en débit, le stockage des réservoirs et des eaux souterraines, la production hydroélectrique, l'évaporation, les pertes de transmission, frais. Les passages modélisés peuvent être interrompus en appuyant sur le bouton Annuler (SEI 2008).

La vue des résultats est un outil de création de rapports à usage général qui nous permet d'examiner les résultats de nos calculs de scénarios sous forme de tableau ou de les afficher sur notre schéma. Résultats mensuels ou annuels peut être affiché pour n'importe quelle période de temps dans l'horizon d'étude. Les rapports sont disponibles sous forme de graphiques, de tableaux ou de cartes et peuvent être sauvegardés en tant que fichiers texte, graphiques ou tableurs. nous pouvons personnaliser chaque rapport en changeant: la liste des nœuds affichés (par exemple, les sites à la demande), les scénarios, la période, le type de graphique, l'unité, le quadrillage, la couleur ou l'image de fond. (Voir Cartes, Tableaux et Cartes pour plus de détails.) Une fois que nous avons personnalisé un rapport, nous pouvons l'enregistrer en tant que "favori" pour une récupération ultérieure. Jusqu'à 25 "favoris" peuvent être affichés côte à côte en les regroupant en une "vue d'ensemble". En utilisant les favoris et les aperçus, nous pouvons facilement assembler un ensemble de rapports personnalisés qui mettent en évidence les principaux résultats de notre analyse.

En plus de son rôle d'outil de reporting principal de WEAP, la vue des résultats est également importante en tant qu'endroit principal où vous analysez vos résultats intermédiaires pour vous assurer que vos données, hypothèses et modèles sont valides et cohérents.

Les rapports sont regroupés en trois catégories principales: demande, approvisionnement et ressources et environnement.

Les rapports sont regroupés en cinq catégories principales:

- Demande
- Approvisionnement et ressources et environnement
- Captage
- Qualité de l'eau
- Financière

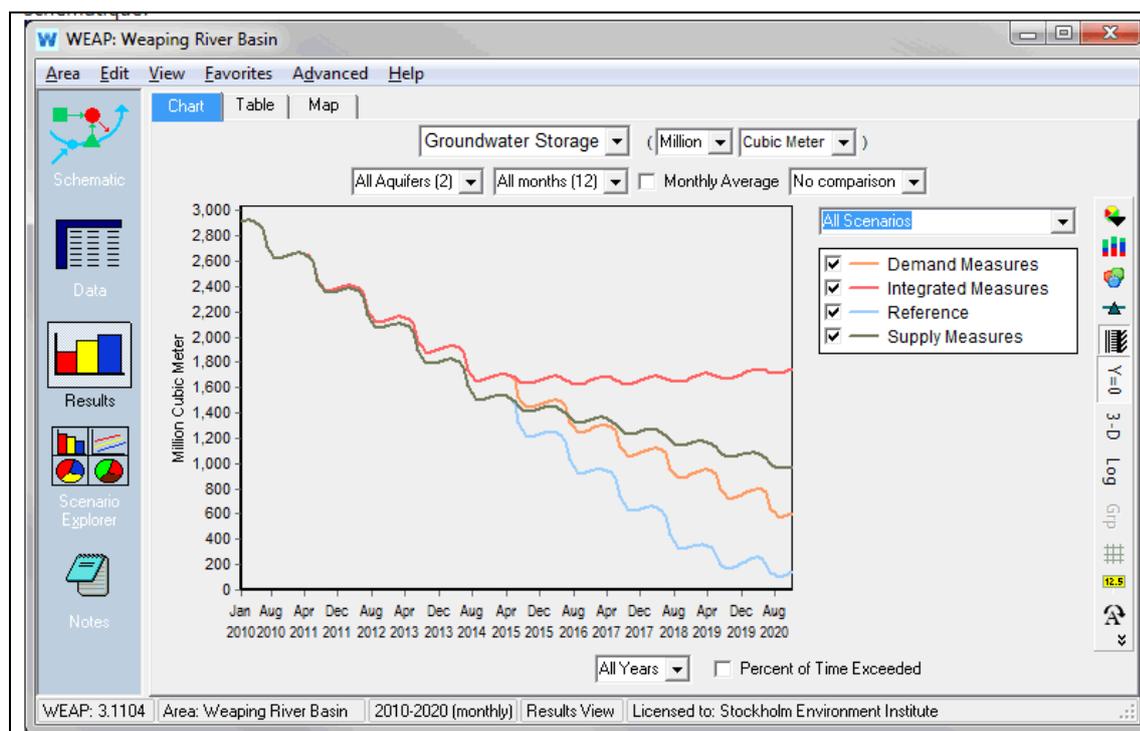


Figure IV.10 Exemple de Résultats (SEI 2008)

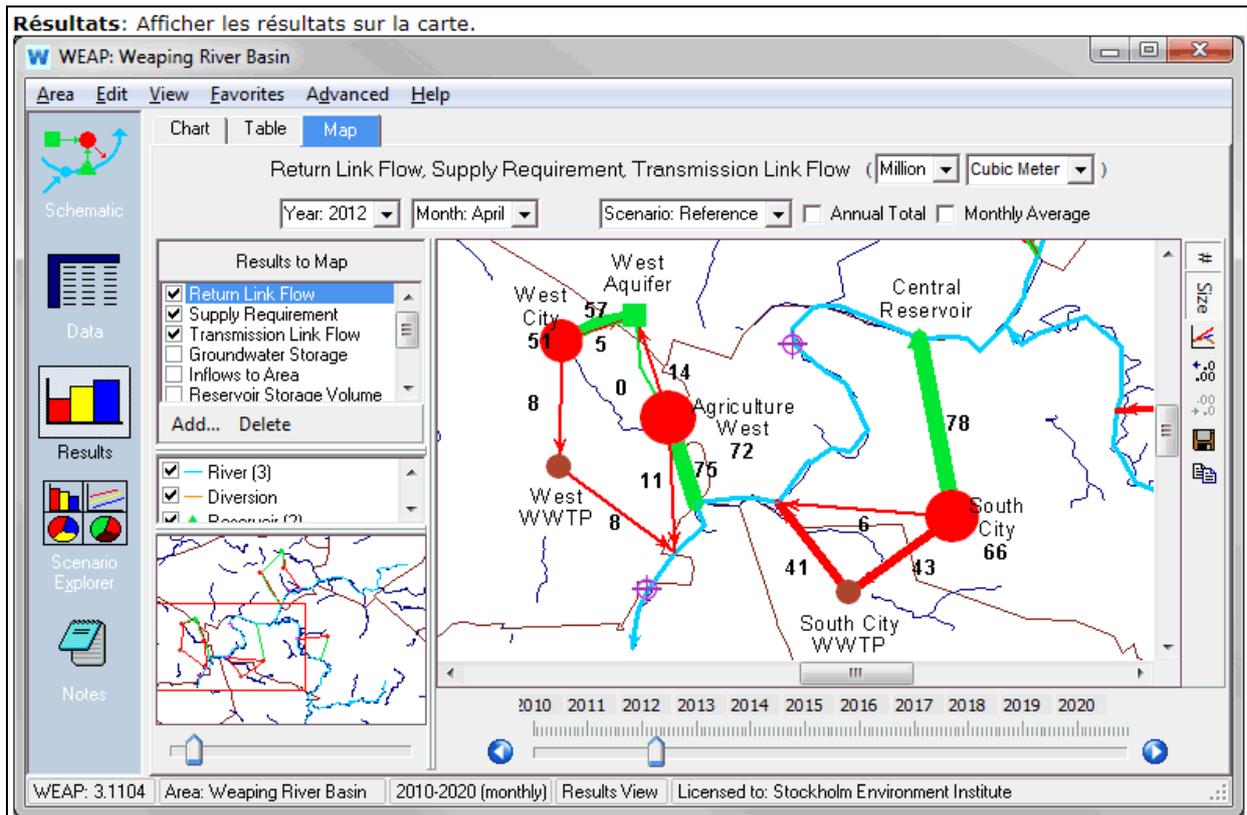


Figure IV.11 Exemple de résultats sur carte (SEI 2008)

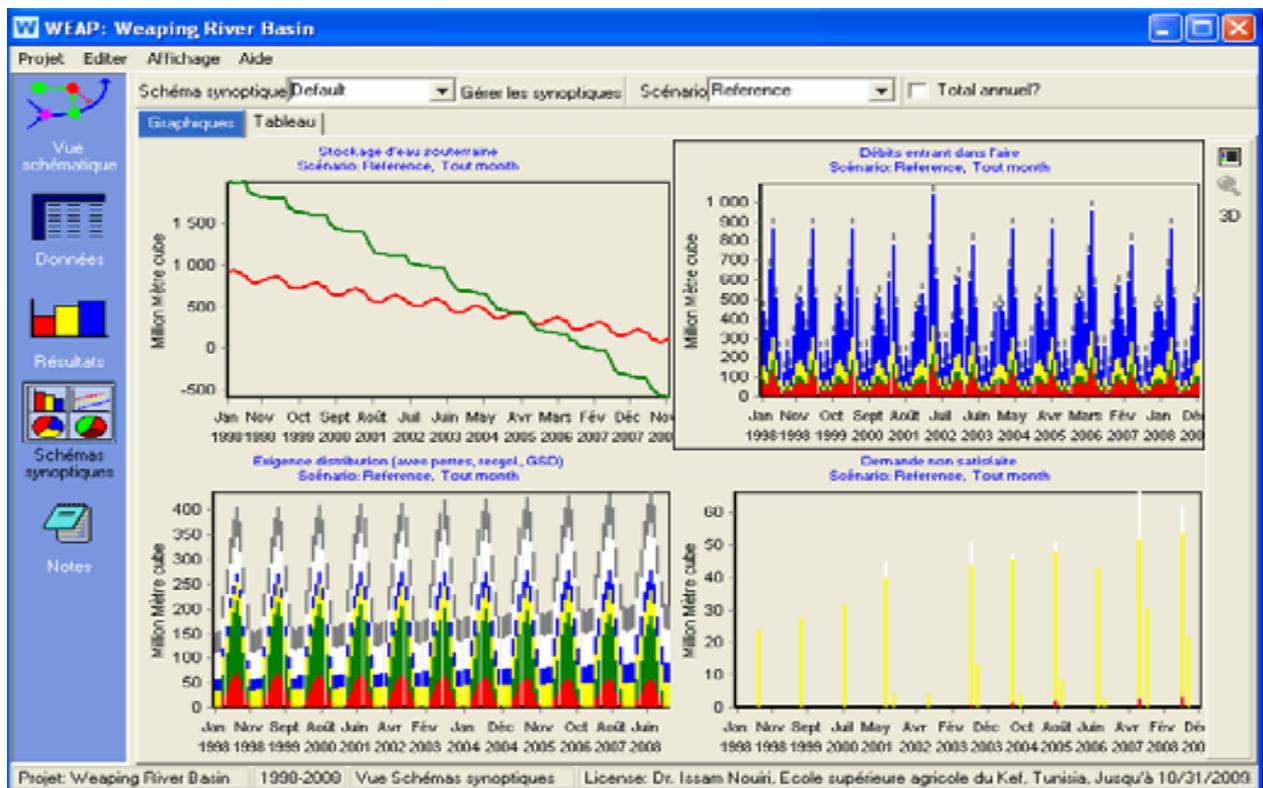


Figure IV.12 Exemple du Schéma synoptique (SEI 2008)

Tableau IV.1 Les sorties du Modèle WEAP (Droogers et al. 2011).

<p>Résultats de la demande</p> <ul style="list-style-type: none">• Demande en eau• Exigence d'alimentation• Alimentation délivrée• Demande non satisfaite• Couverture• Apports (demandes et sorties)• Débit minimal• Débit minimal livré• Besoin non comblé du débit minimal• Couverture de flux
<p>Résultats approvisionnement et les ressources</p> <ul style="list-style-type: none">• Entrée dans le bassin• Sortie du bassin• Rivière<ul style="list-style-type: none">o Débito Débit jaugé (absolu)o Débit jaugé (%)o Stadeo Vitesseo Porté (longueur)• Eaux souterraines<ul style="list-style-type: none">o Stockageo Entrée et sortieo Débordemento Hauteur dessus de la rivièreo Sortie à la rivière• Réservoir<ul style="list-style-type: none">o Volumeo Volume de stockageo Altitude de stockageo Entrées et sortieso L'hydroélectricité• Liaison de transmission<ul style="list-style-type: none">o Débito Entrées et sorties• Autre alimentations<ul style="list-style-type: none">o Entrées et sorties• Lien de retour<ul style="list-style-type: none">o Débito Entrées et sorties

Tableau IV.1 Les sorties du Modèle WEAP (suite)

Résultats de captage

- Résultats de la méthode de la FAO
 - o Les eaux de ruissellement par rapport aux précipitations
 - o Précipitation observée
 - o Débit d'infiltration / ruissellement
 - o ET Potentiel
 - o ET réel (y compris l'irrigation)
 - o ET Déficit
 - o Rendement total
 - o Valeur marchande totale
- Résultats de la méthode d'humidité du sol
 - o Classe des sols (entrées et sorties)
 - o Précipitations observées
 - o Accumulation de neige
 - o Débit d'infiltration / de ruissellement
 - o Précipitations mensuelles efficace (incluant la fonte des neiges) (y compris l'irrigation)
 - o Humidité relative du sol (%) o Débit de rivière sans irrigation
 - o Débit de rivière avec Irrigation complète
 - o Débit vers GW sans irrigation
 - o Débit vers GW avec irrigation complète
 - o Irrigation avec retour fraction d'écoulement d'eaux de surface
 - o Irrigation avec retour Fraction d'écoulement pour les eaux souterraines

Résultats de la qualité de l'eau

- Génération de la pollution
- Charges de pollution
- Apport de pollution vers les stations d'épuration
- Entrées et sorties de stations d'épuration

Résultats financiers

- Rapport du coût net
- Rapport sur la valeur actualisée nette
- Rapport sur le coût moyen de l'eau

(Droogers et al. 2011).

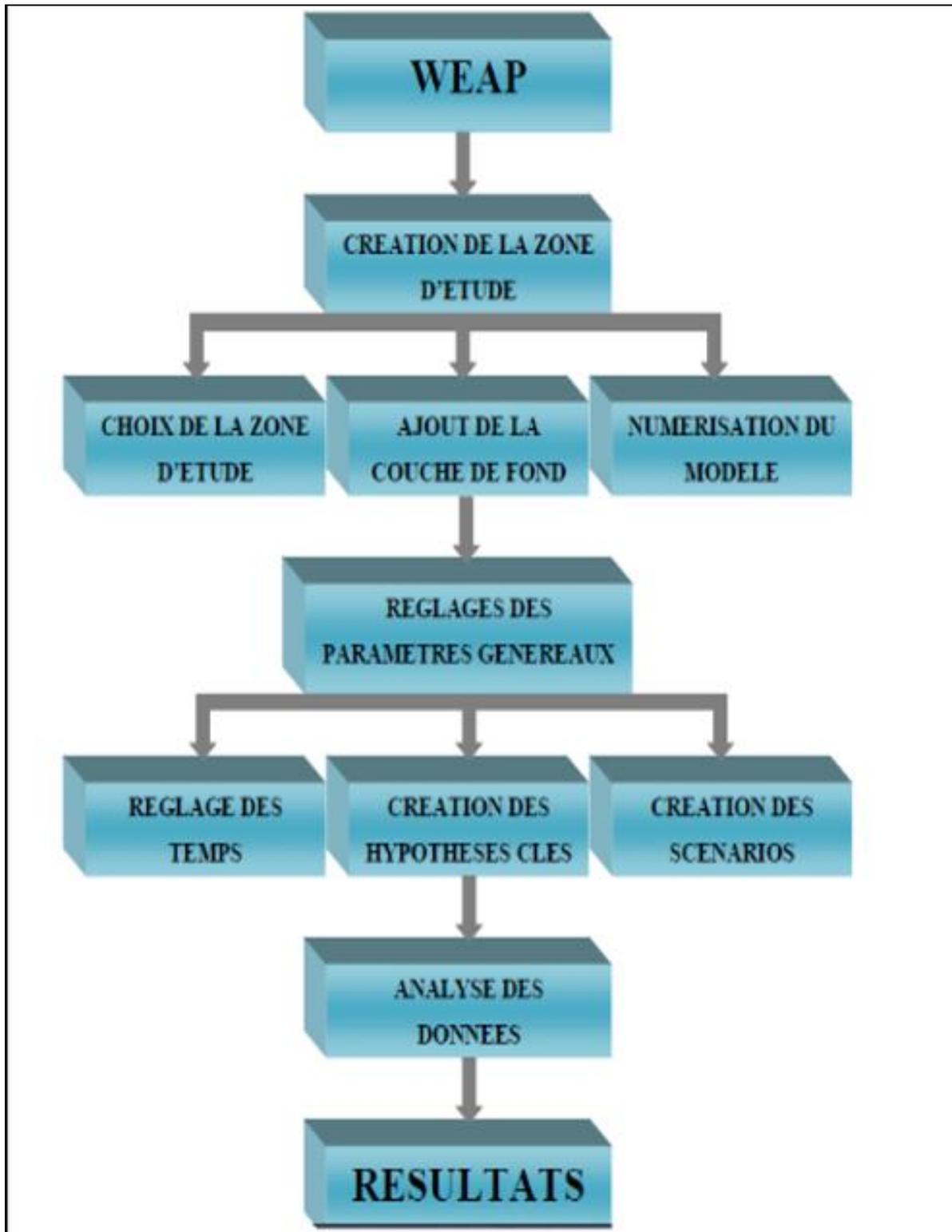


Figure IV.13 Organigramme du fonctionnement de WEAP (Benabdelmalek 2014)

Conclusion

Dans ce présent travail, nous avons choisis le modèle WEAP pour établir une gestion intégrée et durable des ressources en eau du bassin versant du Mazafran. En effet, la capacité et le côté pratique de ce logiciel permet une plus grande exploitation et ainsi une modélisation plus probante.

Chapitre V : LE MODELE WEAP DANS LA REGION D'ETUDE

V-1 Mise en forme des données dans l'environnement WEAP

V-1-1 Discussion de la base de donnée à utiliser

L'exécution de WEAP nécessite l'entrée d'une base de données importante pour chaque élément dans le réseau. La structure de données et le niveau de détail peuvent être facilement personnalisés pour répondre aux exigences d'une analyse particulière et tenir compte des limites imposées lorsque les données sont limitées (Yates et al.2005). Pour configurer le modèle le pas de temps annuel a été utilisé dans la simulation hydrologique pour les raisons suivantes (1) la compatibilité avec les périodes de temps des processus hydrologiques importants, (2) l'existence des données à pas de temps annuel.

Les données de base utilisées ont été obtenues à partir de diverses institutions telles que l'ANRH (agence nationale des ressources hydriques), l'ABH (agence des bassins hydriques), DRE (directions des ressources hydriques de Tipaza, Alger et Blida), l'ONM (Office Nationale de la Météorologie), l'ONS (l'office national des statistiques), la SEAL. Ces données portent sur 146 forages et puits, deux barrages, quatre stations de traitements des eaux usées et une usine de dessalement d'eau de mer (Tableau V-1).

Tableau V.1 Répartition de la ressource en eau de la zone d'étude

Type de la ressource	Nombre	Désignation
Forages et puits	146 (environ)	AEP et Irrigation
Barrages :	2	
1- Bouroumi		Irrigation
2- Boukerdène		AEP et Irrigation
Station de dessalement	1	AEP des 17 communes de la Wilaya de Tipaza
Stations d'épuration	4	Irrigation

V-1-2 Données numériques :

la préparation des données nécessaires pour le système intégré, à l'affichage des résultats et leurs exploitation a été faite par Global Mapper 13. Ci-dessous tous les fichiers sont listés, avec les champs d'attributs les plus intéressants du point de vue d'une gestion automatisée en eau.

La délimitation du bassin versant de l'Oued Mazafran a été effectuée à l'aide de l'outil de l'analyse spatiale d'ArcGis. A la base d'un modèle numérique de terrain couvrant la région, les couches nécessaires ont été élaborées, à savoir, la direction des flux et accumulation des flux, afin de délimiter notre bassin. Cette délimitation a été utilisée comme fond documentaire sur WEAP sur laquelle nous nous sommes basés pour la suite de notre travail. La limite du bassin versant nous a permis aussi de localiser notre région d'étude dans WEAP et de tracer les différentes cartes nécessaires, à savoir, la carte d'occupation du sol et la carte géologique.

La carte d'occupation du sol a été élaborée en utilisant les images satellitaires Landsat 7.

Après un traitement géométrique et radiométrique, les éléments de l'occupation du sol ont été déterminés en se basant sur l'indice de la différence normalisée NDVI. LE résultat de ce traitement a été comparé avec les cartes d'occupation du sol existant pour la validation. Compte tenu que WEAP accepte uniquement les données externes avec un système de coordonnées géographiques (en degrés, minutes, secondes), toutes les données ont été géo référencié avec le système de coordonnées WGS 84. Le géo référencement a été effectué à l'aide du logiciel Global Mapper.

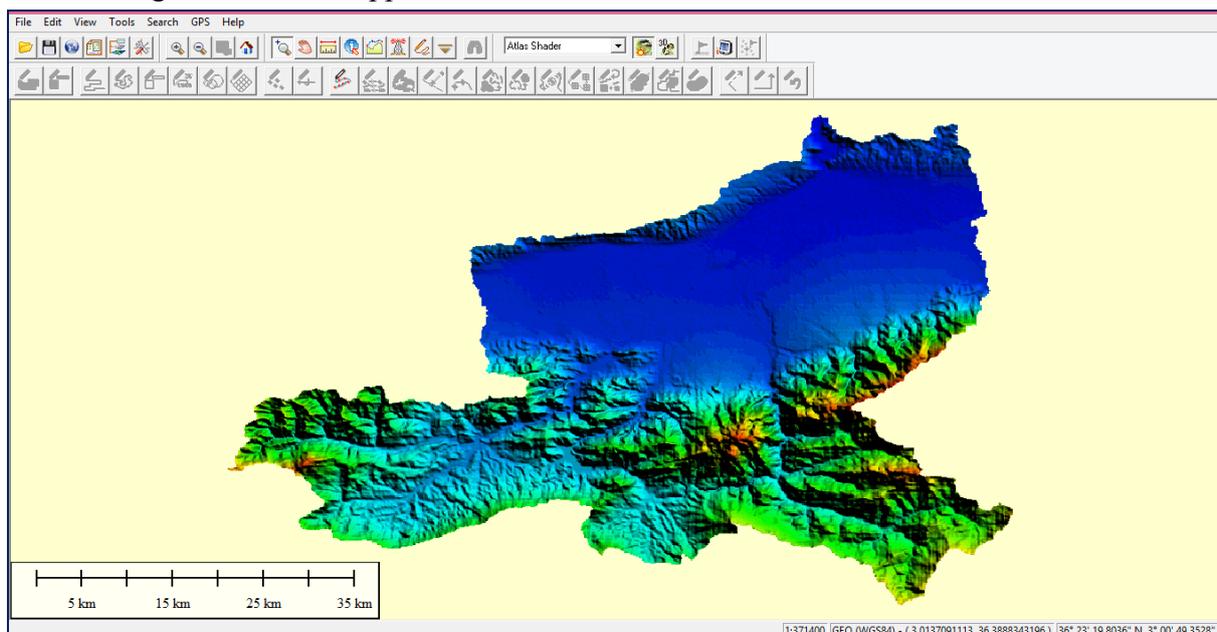


Figure V.1 Modèle Numérique du terrain de la région d'étude

Système de projection géographique adopté

Il existe plusieurs séries de cartes de l'IGN sur l'Algérie, à différentes échelles :

- **1 : 25 000** : Ces cartes sont en projection **Mercator Transverse Universel (MTU)** sur l'ellipsoïde de **Clarke 1880**.
- **1 : 50 000** : Ces cartes sont dressées sur l'ellipsoïde de **Clarke 1880**, en projection de **Bonne** jusqu'en 1942, puis en projection conique conforme de **Lambert 2 zones**, **Lambert Nord Algérie** ou **Lambert Sud Algérie**.
- **1 : 100 000** : Ces cartes sont basées sur le système de référence géodésique **Voirol 1875**, l'ellipsoïde associé étant **Clarke 1880 IGN**. Les cartes sont de **type 1956** sauf les 5 coupures de la région de Colomb-Béchar, qui sont de **type 1922**. Les projections utilisées sont **Lambert Nord Algérie** ou **Lambert Sud Algérie**.
- **1 : 200 000** : Lorsqu'elles sont accompagnées de l'indication **type 1960**, ces cartes sont basées sur le système de référence géodésique **Nord Sahara 1959**, auquel est associé l'ellipsoïde **Clarke 1880 Anglais**.
- **1 : 500 000** : Ces cartes utilisent l'ellipsoïde et la projection de la Carte Internationale du Monde sur l'ellipsoïde International Hayford 1909. A cette échelle et avec un GPS de navigation, leurs coordonnées peuvent être **assimilées à du WGS84**.

V-1-3-Configuration du Modèle :

Les applications WEAP impliquent généralement plusieurs étapes. La définition de l'étude établit le pas du temps, la limite spatiale de la zone d'étude, les composantes du système et la configuration du problème. Les comptes actuels, qui peuvent être considérés comme une étape d'étalonnage (Droogers et al. 2011).

Les hypothèses clés peuvent être intégrées dans les comptes actuels pour représenter les politiques, les coûts et les facteurs qui influent sur la demande, la pollution, l'approvisionnement et l'hydrologie. Les scénarios s'appuient sur les comptes actuels et permettent d'explorer l'impact d'hypothèses ou de politiques alternatives sur la disponibilité et l'utilisation futures de l'eau. Enfin, les scénarios sont évalués en fonction de la disponibilité de l'eau, les coûts et avantages, compatibilité avec les objectifs environnementaux et sensibilité à l'incertitude des variables clés (SEI, 2005).

WEAP calcule un bilan de masse de l'eau et de la pollution pour chaque nœud et chaque lien dans le système défini par l'utilisateur. L'eau est expédiée pour répondre aux besoins en eau et à la consommation, en fonction des priorités de la demande, des préférences en matière d'approvisionnement, du bilan massique et d'autres contraintes (Droogers et al. 2011).

WEAP fonctionne selon un pas de temps mensuel ou annuel, d'une manière indépendante, sauf pour le stockage du réservoir et de l'aquifère. Ainsi, toute l'eau qui pénètre dans le système en un pas du temps (mensuel ou annuel) (ex. Débit de tête, recharge des eaux souterraines ou ruissellement dans les tronçons) est stockée dans un aquifère ou un réservoir, ou quitte le système à la fin du pas (ex. rivière, consommation sur site, réservoir ou rivière, pertes de liaison de transmission et de retour) (Droogers et al. 2011).

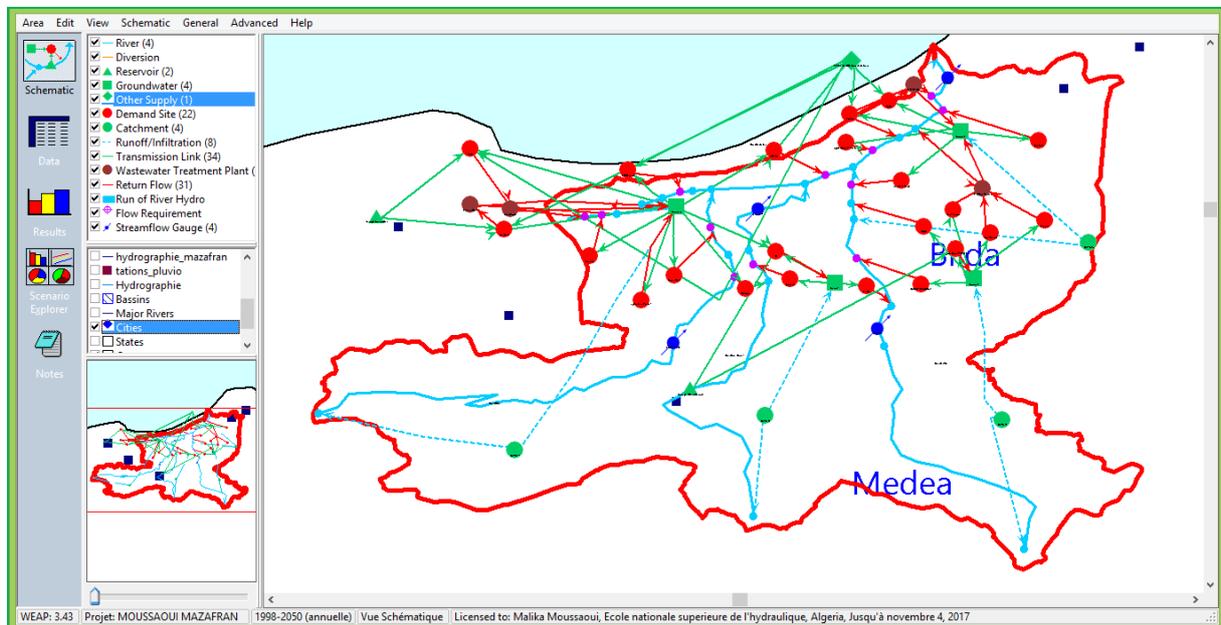


Figure V.2 Modélisation du bassin versant du Mazafran à l'aide du Modèle WEAP

La carte de la Figure V.2 représente le bassin versant du Mazafran dans le modèle WEAP avec les quatre sous bassins, et les ressources existantes : le réseau hydrographique (rivières), les barrages et retenues (triangle vert), les eaux souterraines (carré vert), station de dessalement

(losange vert), station d'épuration (point rouge foncé) et les sites de demande ou utilisateurs (point rouge), les zones de transmission ou zones d'alimentation et les utilisateurs sont reliés par une flèche verte. Après utilisation, les excès d'eau supposés déversés dans la rivière sont indiqués avec des flèches rouges.

Chaque mois ou chaque année, les calculs suivent l'ordre suivant (SEI, 2005):

- Demande annuelle et besoins mensuels d'approvisionnement pour chaque site de demande et exigence de débit.
- Ruissellement et infiltration des bassins versants, irrigation.
- Débits et sorties d'eau pour chaque nœud et lien dans le système. Cela comprend le calcul des prélèvements sur les sources d'approvisionnement pour répondre à la demande et l'envoi des réservoirs. Cette étape est résolue par un programme linéaire (LP), qui tente d'optimiser la couverture des besoins de flux de demande et de débit réservé, en fonction des priorités de la demande, des préférences d'approvisionnement, du bilan massique et d'autres contraintes.
- Production de pollution par les sites de demande, les flux et le traitement des polluants, et les charges sur les organismes récepteurs, les concentrations dans les rivières.
- Production d'hydroélectricité.
- Coûts et revenus d'exploitation

Pour les besoins de la modélisation notre zone d'étude a été subdivisée en quatre sous-bassins.

Pour chaque sous-bassin les renseignements suivants ont été collectés :

- Disponibilité de la ressource
- Localisation des zones irriguées et leurs exigences en eau
- Besoins en eau domestique et industrielle
- Les réservoirs

V-1-4 Disponibilité de la ressource :

Les ressources en eau regroupent les eaux de surfaces, de drainage ainsi que les eaux souterraines. Cet apport en eau peut être utilisé par différents types de consommateurs à savoir l'hydroélectricité, l'irrigation, l'usage domestique et industriel et/ou les besoins de l'environnement. Ces ressources dépendent de plusieurs facteurs interdépendants tels que la taille du sous bassin, les conditions météorologiques, l'état de l'humidité du sol, etc... (Hamlet 2013).

Plusieurs paramètres sont utilisés pour la représentation schématique du modèle WEAP du bassin versant du Mazafran, on va présenter à titre d'exemple l'influence de type de sol et qualité de l'eau pour la représentation de l'aquifère qui serve à l'alimentation de presque la totalité des sites de demande intégrés dans le dit bassin. 56 puits et forages ont été collectés (ANRH 2012) dont 24 appartenant au bassin versant Mazafran, avec une mesure journalière de la conductivité de l'eau.

Pour la représentation des forage et puits dans le WEAP on doit avoir plusieurs conversations des coordonnées en utilisant le système de coordonnées de projection géographique WGS 1984 sur la base d'Arc Gis Shp.

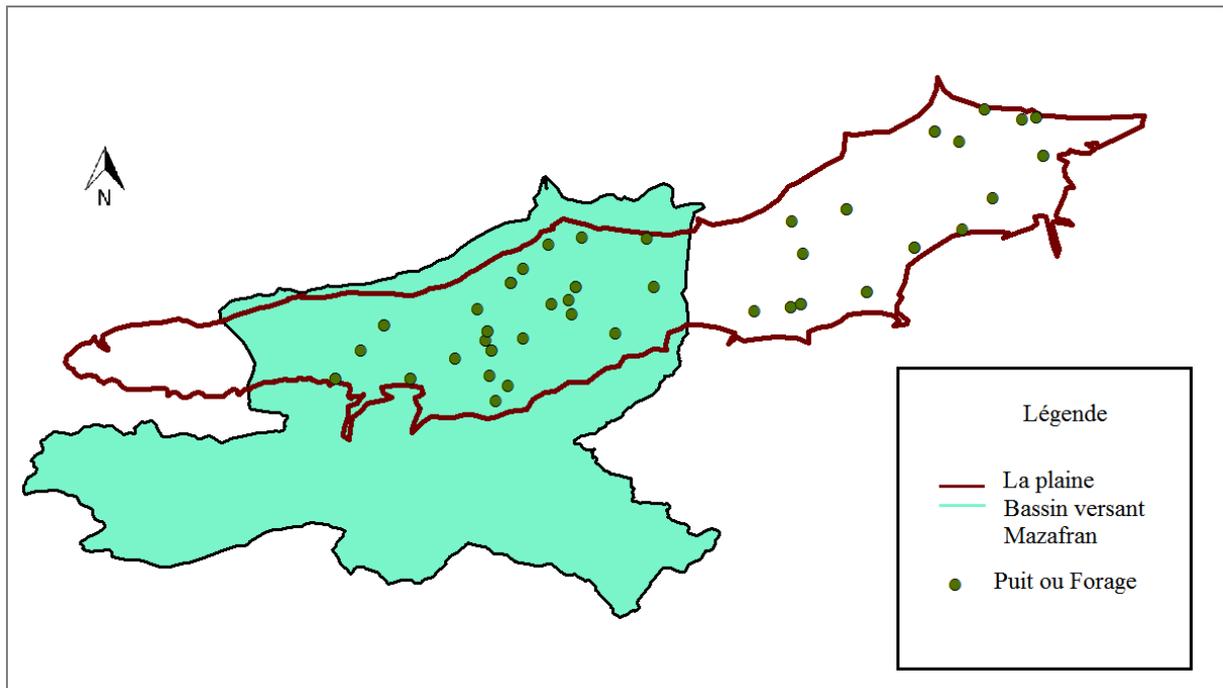


Figure V.3 localisation des forages et puits dans la zone d'étude

A partir de la carte pédologique de la région de la plaine de la Mitidja (ANRH 1967) quatre types de sol ont été défini selon les données de la FAO (figure N° ...),

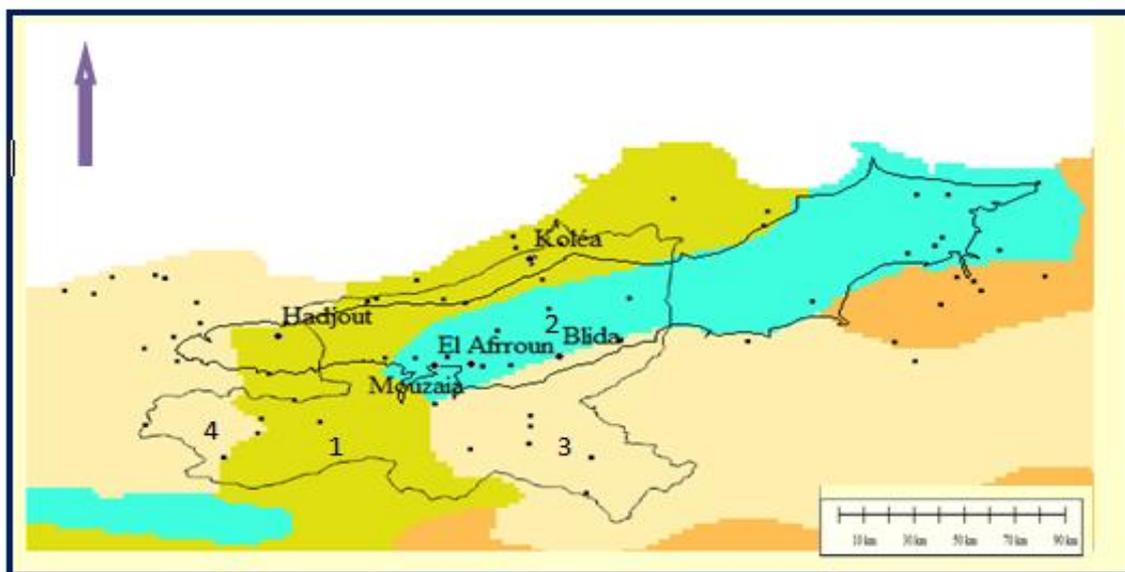


Figure V.4 Carte des types de sol

a- Calcul de la salinité de l'eau souterraine à partir de la conductivité

D'après la variation de la conductivité de l'eau, on a choisi le coefficient de la minéralisation dans le but de calculer la salinité de l'eau au niveau des puits et des forages de la zone d'étude. Dans la zone d'étude, le coefficient de minéralisation est compris entre 0.72 et 0.76.

b- Spatialisation de la qualité d'eau de la zone d'étude

La prévision de la distribution spatiale de la salinité dans la nappe souterraine de la zone d'étude est effectuée en utilisant la méthode d'interpolation spatiale le Krigeage. Pour passer d'une répartition ponctuelle à une répartition spatiale de la salinité, on a choisi le logiciel Surfer 10 comme un outil d'interpolation (Kahlerras 2016).

c-Interpolation de la salinité par la méthode du krigeage

La distribution de la salinité varie de 0.2 à 2.3 g/l durant le mois du Mai 2012 représentée par la carte suivante.

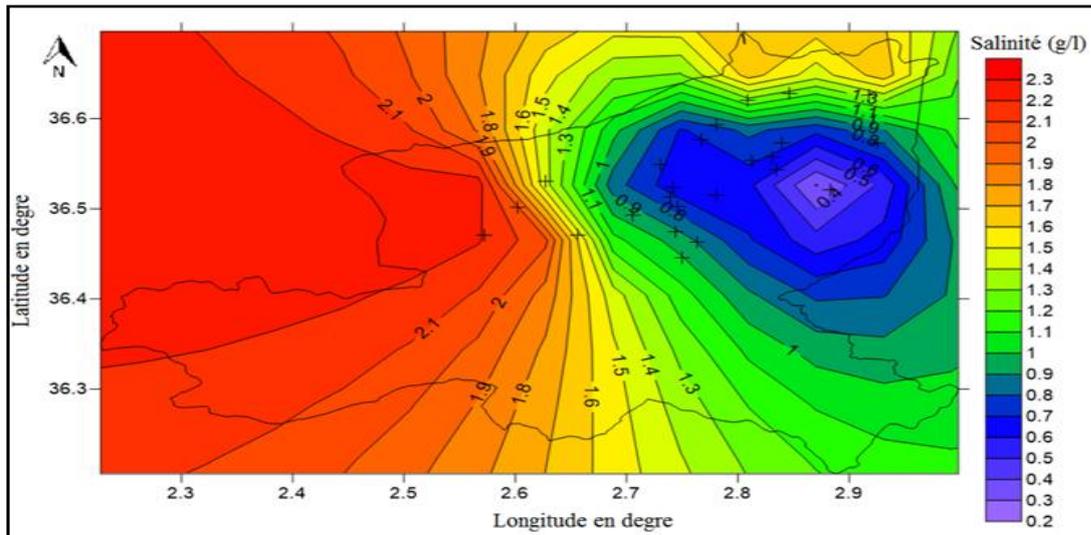


Figure V.5 Carte de la spatialisation de la salinité en g/l du mai 2012.

Les deux paramètres (type de sol et salinité) ont permis de diviser l'aquifère de la Mitidja en quatre sous-aquifères pour la représentation schématique dans le modèle WEAP (figure N°5). Pour cette répartition des aquifères, une superposition des deux cartes a été réalisée entre le type de sol et la salinité (figure V.5). Ces informations seront incorporées dans le modèle WEAP.

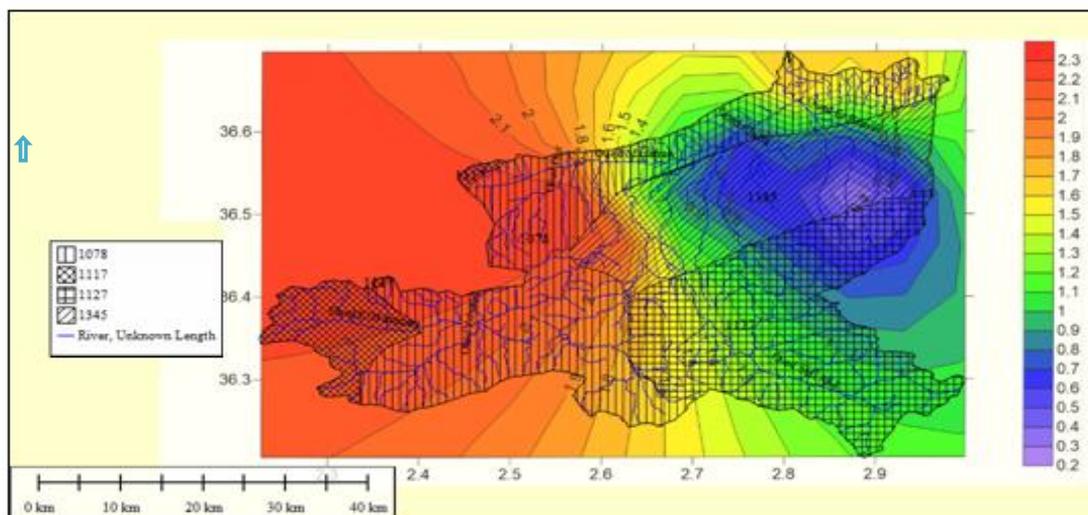


Figure V.6 Superposition des cartes de type de sol et de salinité

La superposition des deux cartes nous a permis de diviser l'aquifère de la Mitidja qui fait partie du bassin du Mazafran en quatre parties suivantes (Kahlerras 2016):

- aquifère (nappe) N°1 avec le type de sol N° 2 et une salinité varie (0.2 à 0.9) g/l
- aquifère (nappe) N°2 avec le type de sol N° 1 et une salinité varie (1 à 1.5) g/l
- aquifère (nappe) N°3 avec le type de sol N° 3 et une salinité varie (1 à 1.5) g/l
- aquifère (nappe) N°4 avec le type de sol N° 1 et une salinité varie (1.8 à 2.3) g/l

Cette répartition est représentée schématiquement dans le modèle WEAP.

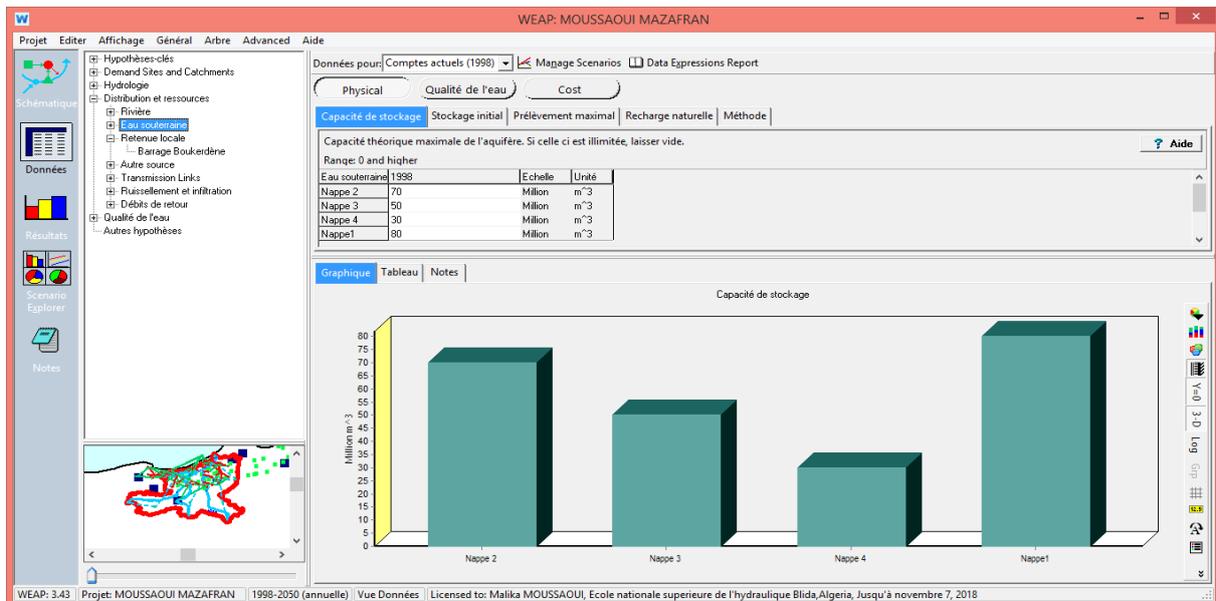


Figure V.7 exemple : les ressources en eau souterraines modélisées dans le WEAP

V-1-5 Modélisation du climat :

La variation des principaux paramètres météorologiques comme les précipitations, la température, l'humidité, la vitesse du vent ont été introduites dans le modèle en utilisant l'option (read from file wizard) .

Les Projections relatives aux changements climatiques de la température et des précipitations ont été évaluées à l'aide du modèle CORDEX Africa (Zeroual et Al. 2016) figures (V.17 et V.18). Le CORDEX est un exercice coordonné de simulations numériques du climat mis en œuvre conjointement par plusieurs centres de recherche dans le but de produire les données climatiques sur une échelle réduite sur 14 régions: Amérique du Sud, Amérique centrale, Amérique du Nord, Afrique, Europe, Asie du Sud , L'Asie de l'Est, l'Asie centrale, l'Australasie, l'Antarctique, l'Arctique, la Méditerranée, le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord et l'Asie du Sud-Est (Giorgi et al.2009; Jones et al.2011). CORDEX, les modèles climatiques régionaux ont utilisé les conditions aux limites de dix modèles de circulation générale (MCG) atmosphère-océan (AO) de la 5ème phase du projet d'inter comparaison des modèles couplés (CMIP5) pour reproduire une nouvelle version du climat régional modèles pour la région de l'Afrique (Jones et al.2011; Nikulin et al..2012).

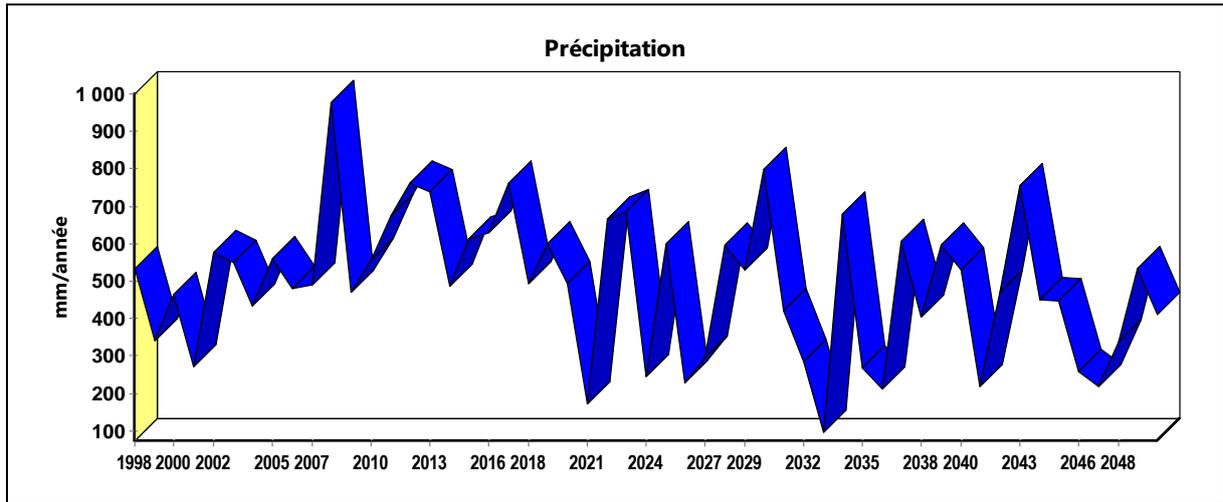


Figure V.8 Les données des précipitations intégrées dans le modèle WEAP

Pour la simulation des processus des bassins versant tels que l'évaporation le ruissellement, l'infiltration et les demande en eau des cultures , il existe dans la version actuelle de WEAP quatre méthode qu'on peut faire le choix, on distingue:

- 1) la méthode pluie ruissellement de la FAO ;
- 2) la méthode FAO limitée au calcul des demandes d'irrigation ;
- 3) la méthode dite humidité de sol, qui propose une structure de modèle à 2 réservoirs représentant une couche superficielle et une couche profonde (Yates *et al.*, 2005).
- 4) la méthode MABIA , une nouvelle méthode basée sur la formulation de Cropwater

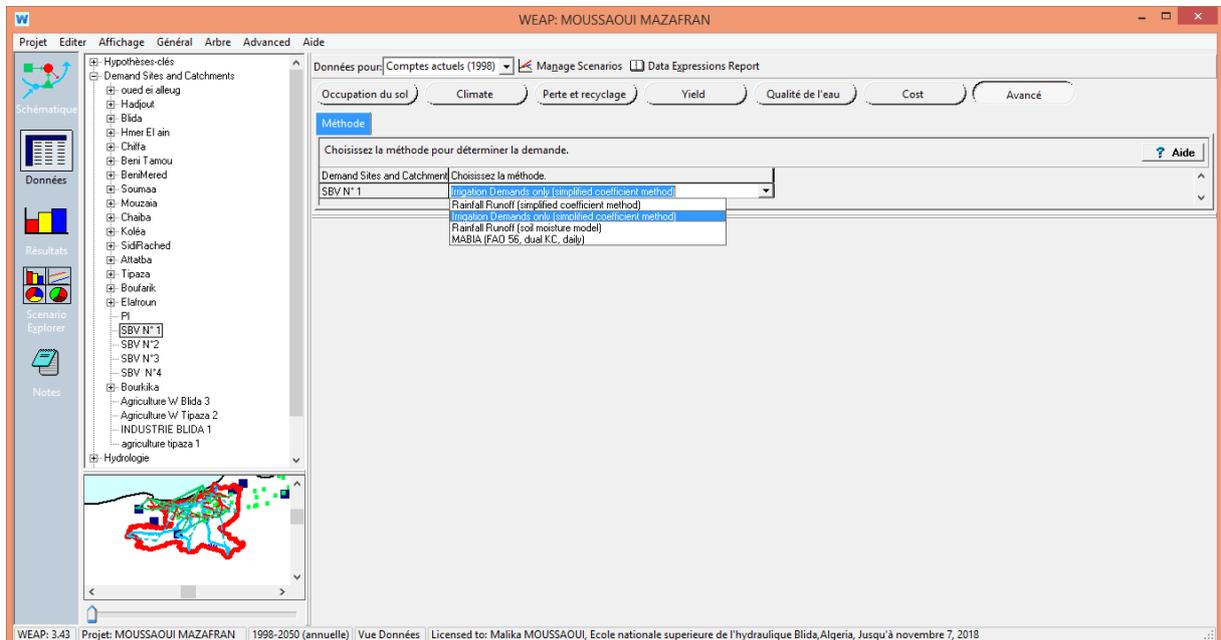


Figure V.9 Les différentes méthodes pour simuler le processus du bassin versant

Pour faire varier en fonction du temps les débits entrants au modèle (dans notre cas le Head flow de la rivière principale), WEAP offre deux stratégies. Si des prévisions détaillées sont disponibles, celles-ci peuvent être lues en utilisant la fonction << Read From File >>.

Une autre méthode, est la «méthode de l'année hydrologique». sous cette méthode chaque année dans la durée du modèle peut être définie comme normale, humide, très humide, sec et très sec.

La Méthode de l'Année Hydrologique est un moyen simple pour représenter les variations des données climatiques comme les Débits de rivière, la pluviométrie et la recharge de la nappe. La méthode implique en premier comment définir les régimes climatiques (ex. Très sec, sec, très humide) en comparaison à une année normale, à qui il est attribué la valeur 1. Les années sèches ont une valeur inférieure à 1, les années très humides ont une valeur supérieure à 1.

V-1-6 Besoins en eau: (domestique, secteur de santé, secteur de l'éducation et secteur de l'élevage)

Sur la base des données collectées concernant le nombre d'habitants de chaque commune et d'autres catégories des consommateurs d'eau dans la région d'étude pour l'année de référence, on a calculé les niveaux d'activité annuels pour les introduire dans le modèle WEAP, les données les plus fines seront utilisées directement avec le modèle.

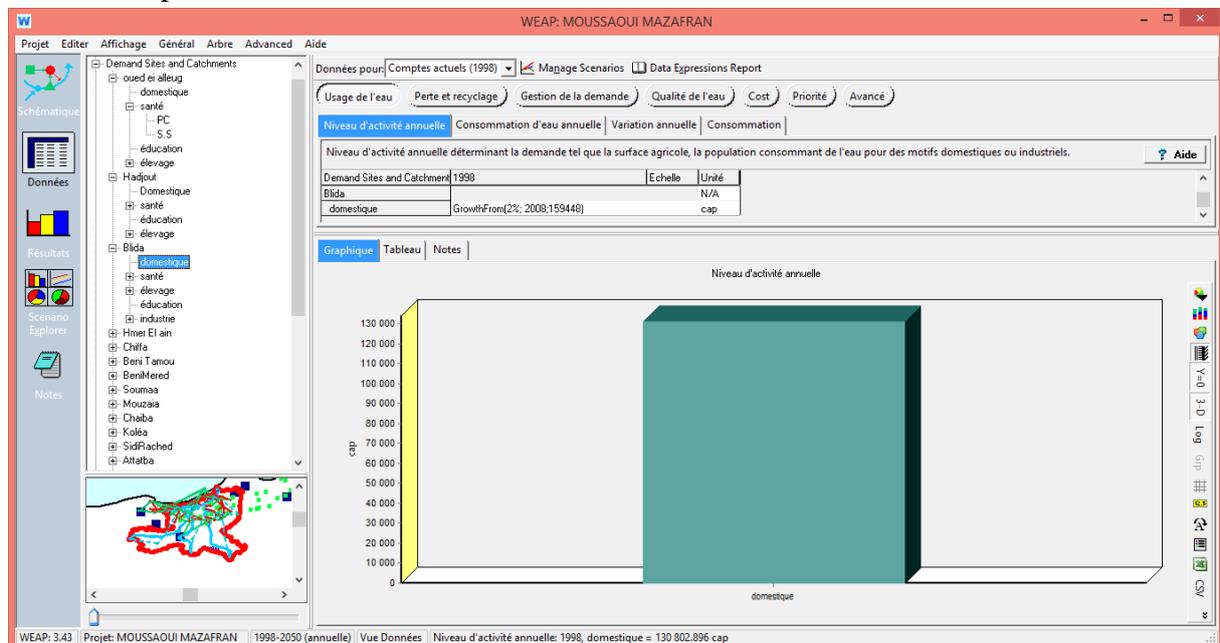


Figure V.10 Exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage domestique)

**Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques dans la plaine de la Mitidja
(Modélisation par le logiciel WEAP 21)**

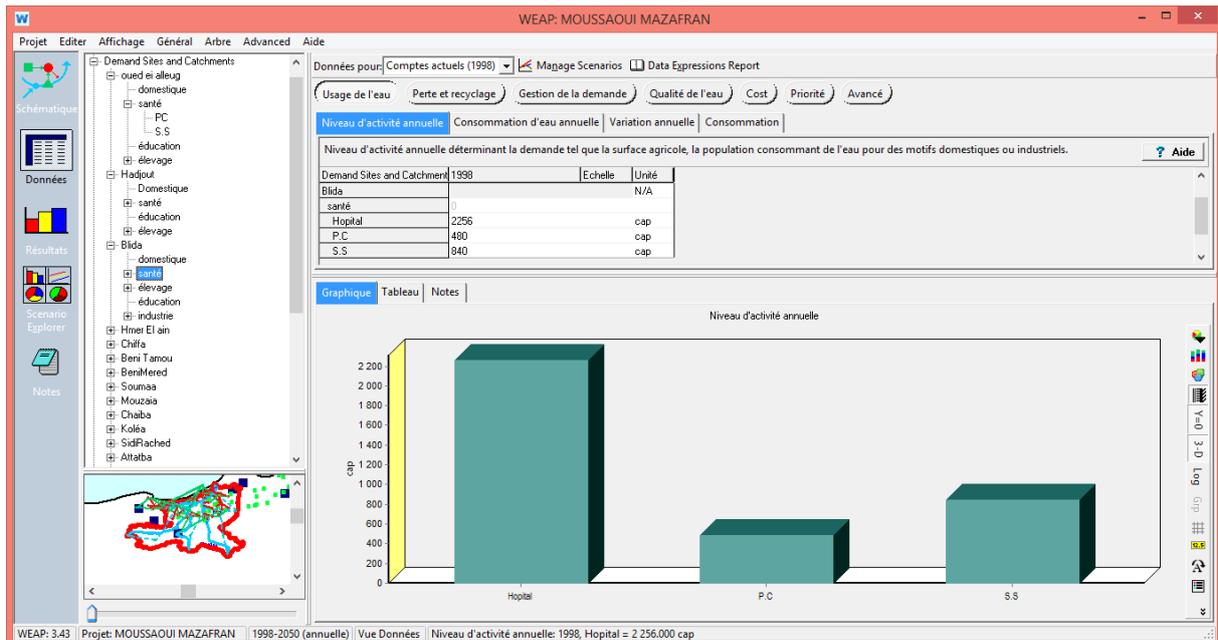


Figure V.11 exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage sanitaire)

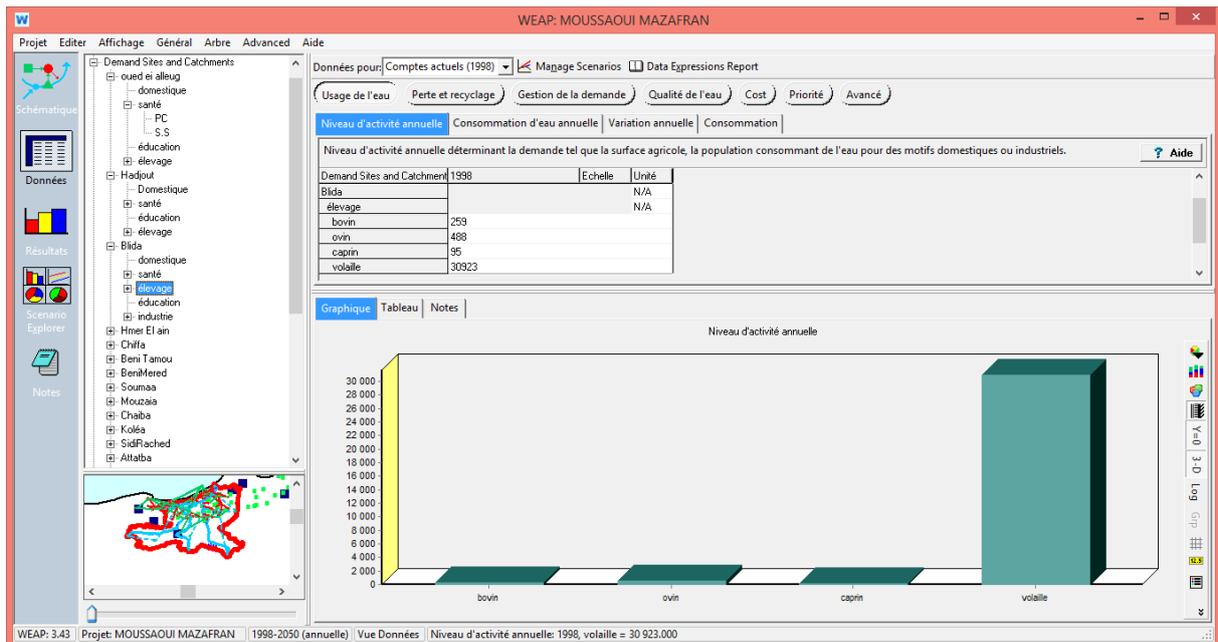


Figure V.12 exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage de l'élevage)

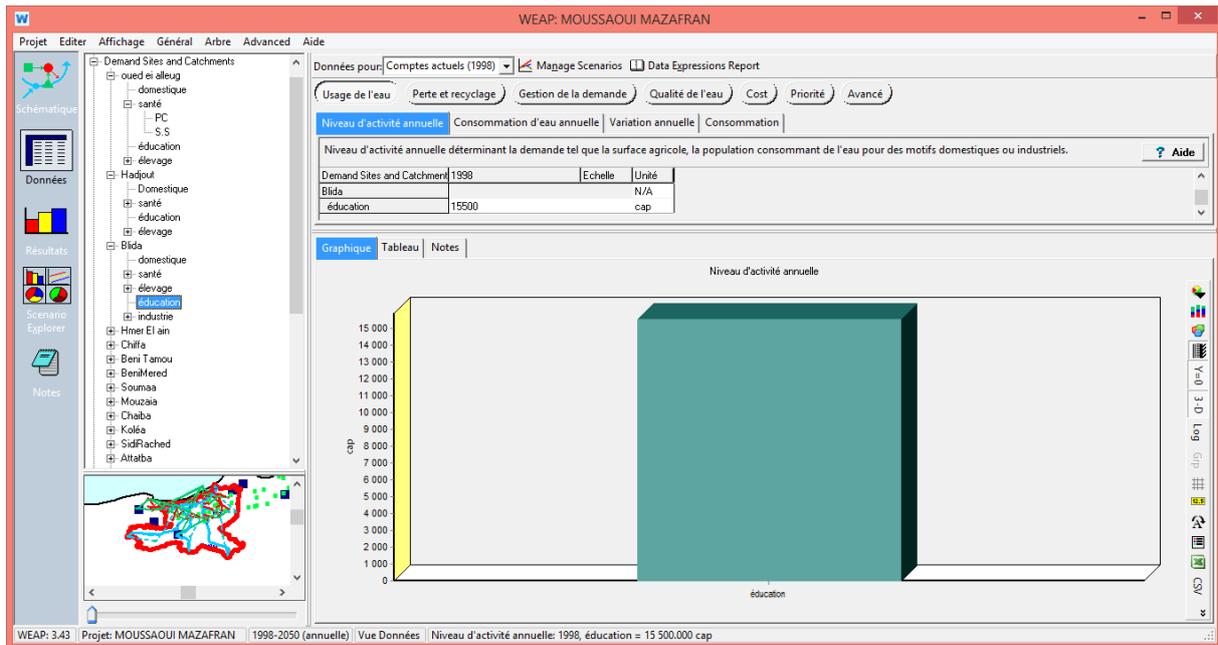


Figure V.13 exemple de différentes données nécessaires pour modéliser les besoins en eau des sites de demande dans le modèle WEAP (donnée pour l'usage du secteur de l'éducation)

La priorité de la demande représente la priorité de l'allocation d'une ressource limitée entre plusieurs sites de demande. WEAP va essayer de satisfaire tous les sites de demande de plus forte Priorité de la Demande, ensuite les sites avec de faibles priorités jusqu'à ce que toutes les demandes seront satisfaites ou toutes les ressources sont utilisées.

Pour la région d'étude, la demande domestique a la priorité sur les exigences de l'agriculture lorsque la demande domestique est agricole en concurrence pour la même ressource en eau.

Conformément à l'article 2 de la loi sur l'eau n°05-12 du 04 août 2005, l'approvisionnement en eau à travers la mobilisation et la distribution d'eau en quantité suffisante et en qualité requise, pour satisfaire en priorité les besoins de la population et de l'abreuvement du cheptel et pour couvrir la demande de l'agriculture, de l'industrie et des autres activités économiques et sociales utilisatrices d'eau.

V-1-7 Réservoirs :

Les deux réservoirs de notre zone d'étude ont été introduit dans le modèle WEAP, qui effectue des simulations de fonctionnement hydraulique de la retenue,

Les données nécessaires pour la modélisation des barrages sont comme suit:

des apports ,de la pluviosité et de l'évaporation sur la plan d'eau, les besoins à satisfaire, la courbe volume hauteur , les cotes caractéristiques des barrages, situation des barrages (en exploitation , en construction et en projet) et les coordonnées .

Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques dans la plaine de la Mitidja (Modélisation par le logiciel WEAP 21)

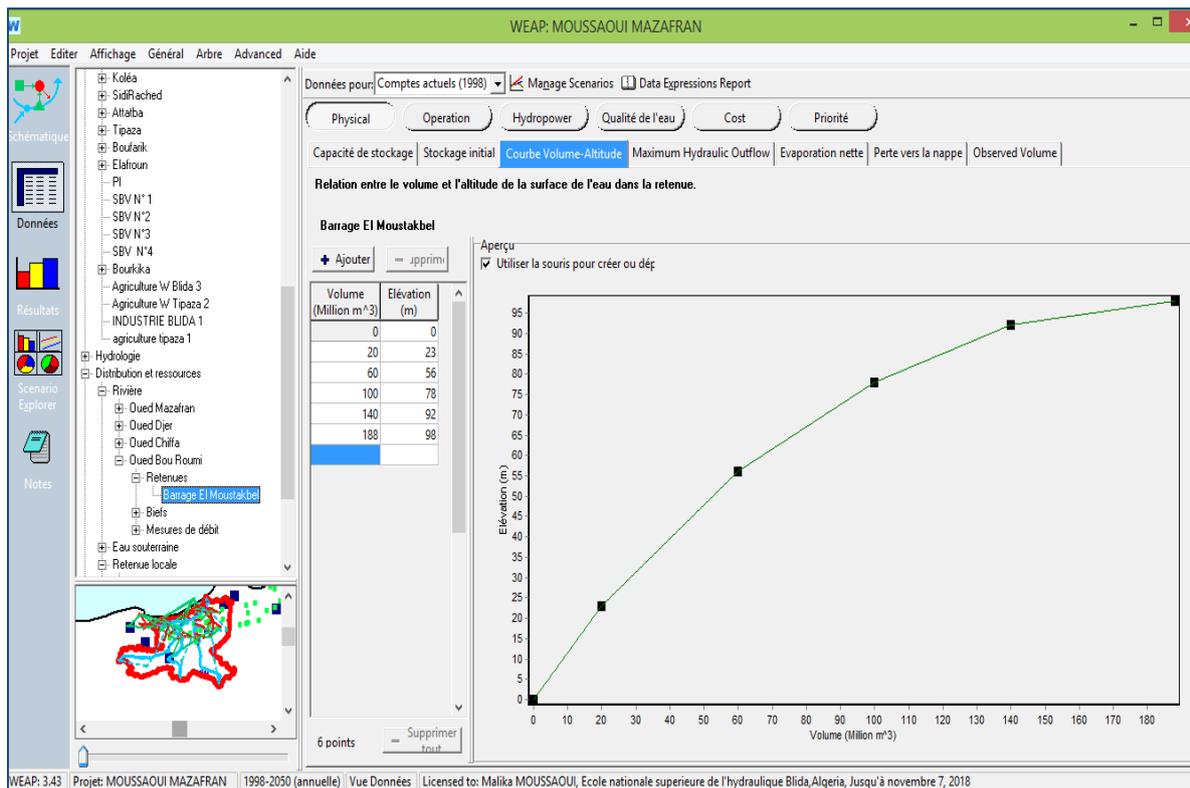


Figure V.14 Les données du barrage intégrées dans le Modèle WEAP

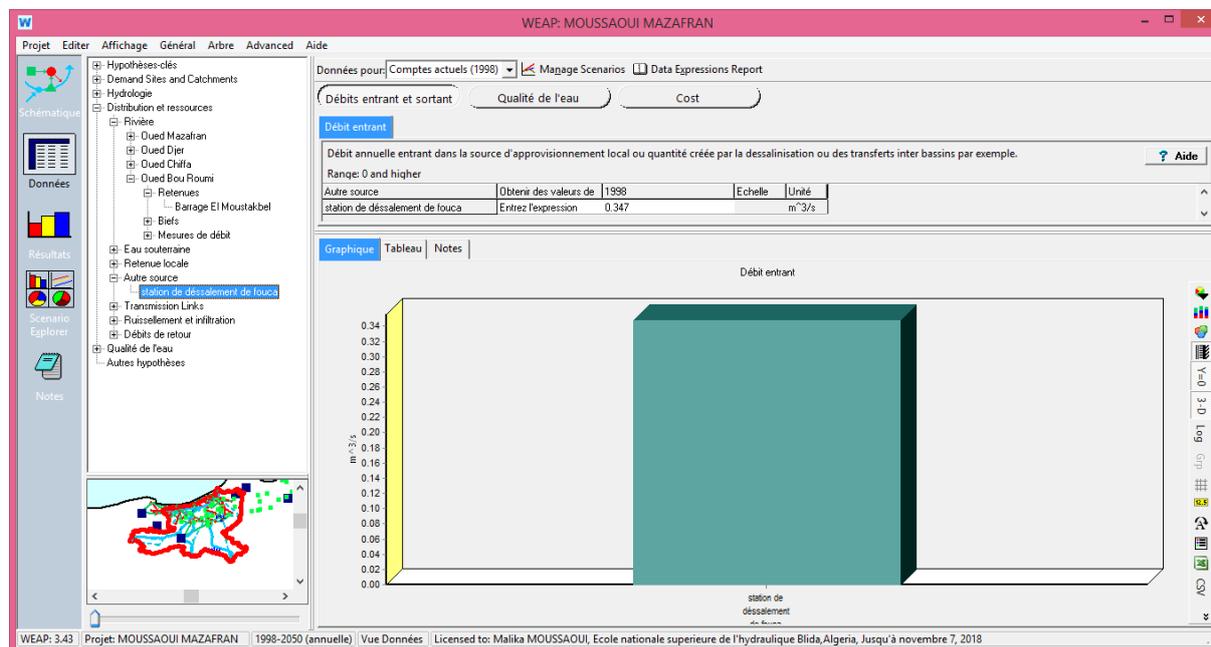


Figure V.15 les données de la station de dessalement intégrée dans le Modèle WEAP

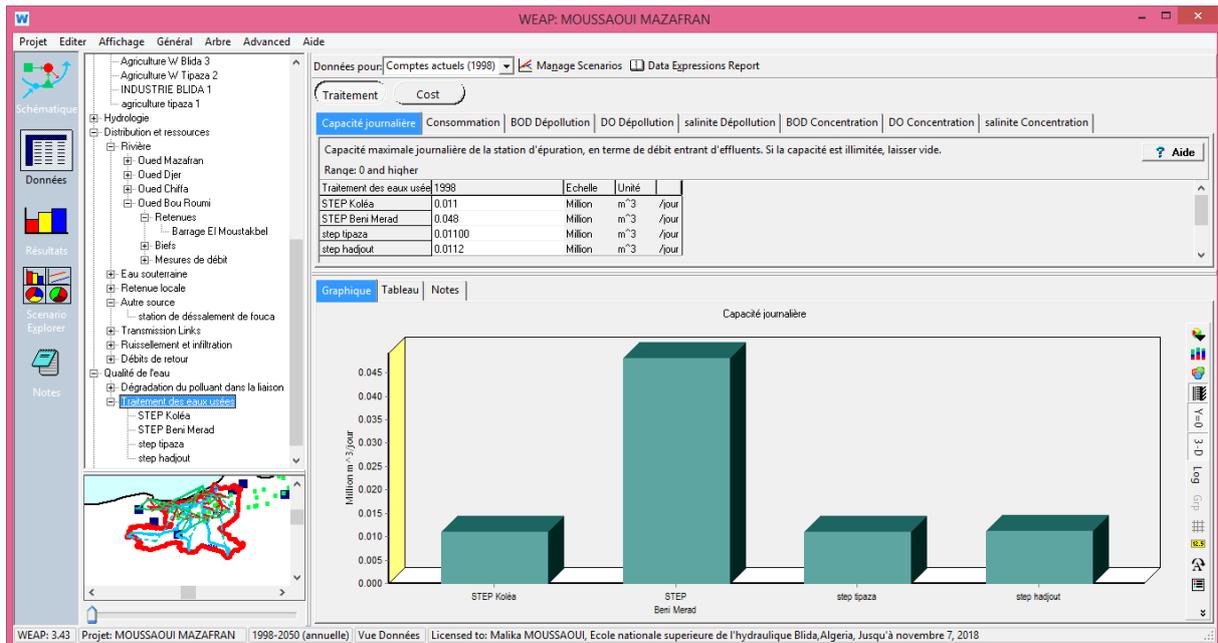


Figure V.16 Les données des STEP intégrées dans le Modèle WEAP

V-2 Présentation des principaux scénarios utilisés

Le modèle WEAP utilisé dans le cadre de l'étude fait intervenir de multiples paramètres, ce qui a permis d'élaborer de nombreux scénarios par combinaison de ces paramètres chacune constitue de ce fait des hypothèses d'utilisation des ressources en eau ou de variation de la demande peut être calculée avec le modèle.

Les composantes d'un scénario de simulation sont toutes globalement organisées selon trois familles de donnée d'information:

- Les données naturelles qui impactent quatre grands domaines: les données démographiques et les données patrimoniales.
- Les données évaluées qui reposent sur des méthodologies d'estimation et des hypothèses conditionnant l'évolution des données observées.
- Les politiques d'intervention qui traduisent les mesures qui visent à l'amélioration du niveau de satisfaction des différents usagers et concernent trois axes d'actions :
 - (1) politiques de mobilisation de nouvelles ressources :
 - (2) principes d'allocation des ressources;
 - (3) amélioration des conditions d'exploitation des ressources

Pour cette étude on a défini deux scénarios pour déterminer les mesures qui permettent d'arriver à une situation d'équilibre hydrique pour l'horizon 2050. Ces derniers sont basés sur les scénarios climatiques élaborés à partir des simulations du modèle climatique RCA4 sous les profils de concentration des gaz à effet de serre RCP 4.5 et RCP 8.5 en termes d'impacts plausibles sur les ressources en eau du bassin versant du Mazafran , les demandes en eau pour différents sites de demande et sur les indices de performance du système modélisé.

Pour se faire les deux scénarios climatiques moyens suivants, par le GIEC en 2013, seront utilisés pour évaluer l'évolution des ressources en eau dans la région étudiée:

- **RCP 8.5 : scénario le plus pessimiste.** En 2100, on atteint un forçage radiatif de 8,5 W/m², ce qui correspond à une concentration équivalente en CO₂ proche de 1370 ppmv. Le forçage radiatif est en pleine augmentation en 2100. Il se rapproche de l'ancien scénario A2 (GIEC, 2007) ;

- **RCP 4.5 :** en 2100, on atteint un forçage radiatif de 4,5 W/m², ce qui correspond à une concentration équivalente en CO₂ proche de 650 ppmv. La stabilisation se fait après 2100, mais commence en 2060. Ce scénario correspond à l'ancien scénario B1 (introduction de technologies propres et utilisation des ressources efficiente, mais sans initiative supplémentaire pour gérer le climat).

Les modèles retenus par (Zeroual, 2016) ont montré une diminution des précipitations moyennes annuelles et une augmentation des températures moyennes interannuelles. En effet, le modèle RCA4 (NorESM1-M) prédit, pour la période allant de 2006 à 2060, avec le scénario RCP4.5, une diminution des précipitations moyennes par rapport à la période « 1951-2005 » et une augmentation des températures moyennes annuelle.

En définitive, trois « runs » de simulation seront étudiés :

- un run historique sur la période 1980-2010 (simulation de référence) ;
- un run pour le scénario RCP 4.5 (ex scénario B1).
- un run pour le scénario RCP 8.5 (ex scénario A2).

Les modèles, CORDEX Africa, utilisés par Zeroual (2016) ont montré une réduction des précipitations moyennes annuelles et une augmentation des températures moyennes interannuelles. En effet, les modèles RCA4 et RCP 8.5 prévoyaient, pour la période allant de 2006 à 2060, avec le scénario RCP4.5, une diminution des précipitations moyennes par rapport à la période "1951-2005" et une augmentation des températures moyennes annuelles.

Ces projections montrent une évolution négative des précipitations. Cette tendance est plus prononcée dans le cas du scénario RCP 8.5 où une nette réduction a commencé en 1916. Ensuite, les pluies seront pratiquement stables avec une moyenne proche de 400 mm, ce qui est bien en dessous des valeurs enregistrées dans la région. Cela signifie un abaissement drastique des apports atmosphériques nécessaires au remplissage des barrages et à l'approvisionnement naturel en eau souterraine. Cette approche qui vise à évaluer l'évolution des précipitations et des températures dans le futur a été largement utilisée dans le monde (Jacob et al., 2014, Kanhu et al., 2015, Majhi et al., 2016).

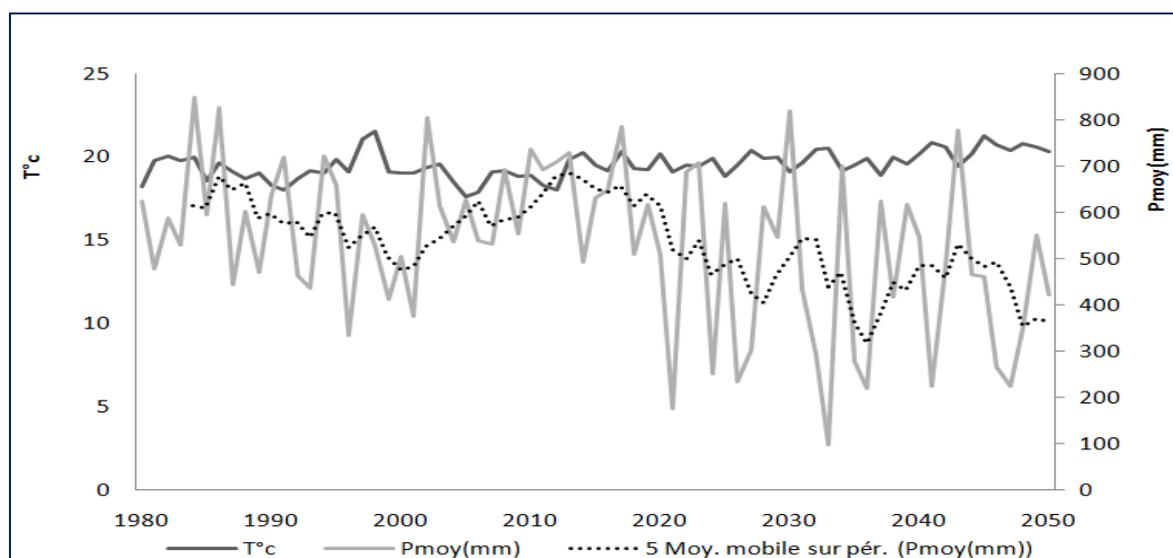


Figure V.17 : Evolution des températures et des pluies projetées pour l'horizon 2050 (scénario RC4.5)

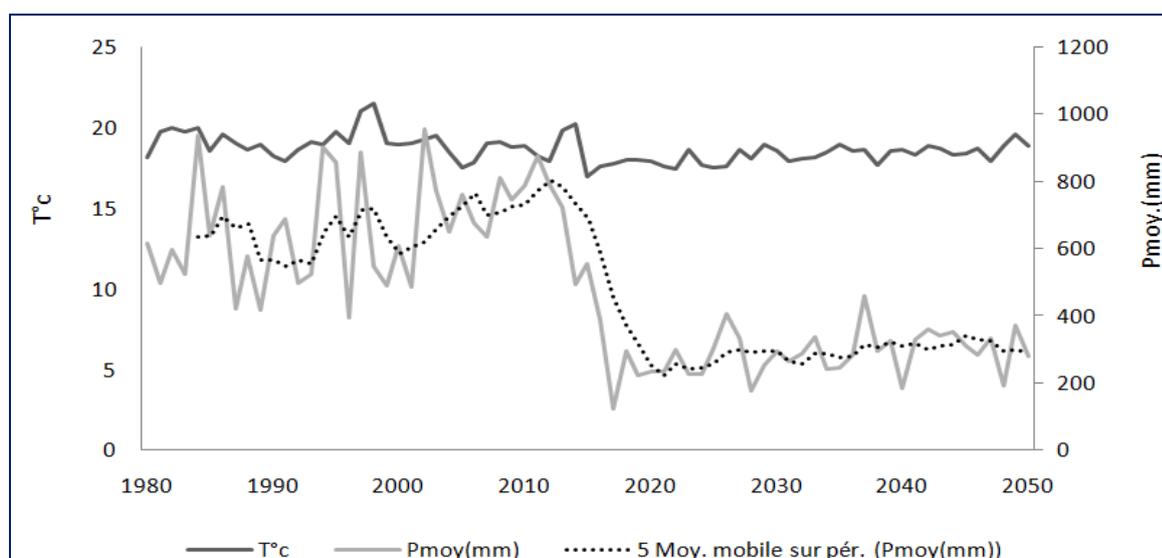


Figure V.18 Evolution des températures et des pluies projetées pour l'horizon 2050 (scénario RC8.5)

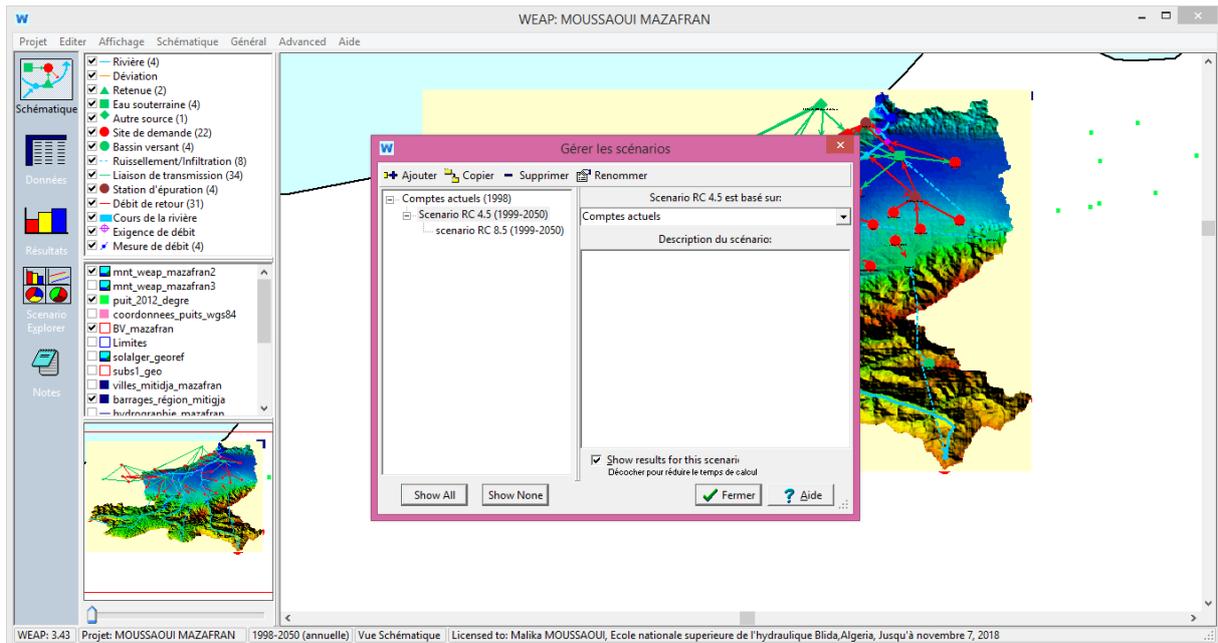


Figure V.19 Les deux scénarios proposés dans le modèle WEAP

V-3 Calage et validation du modèle :

Le calage est le processus de «réglage» du modèle pour obtenir les paramètres d'entrée optimaux en ajustant la simulation du modèle aux mesures observées. Ce processus est principalement guidé par analyses statistiques de la simulation pour indiquer la direction du processus (Huzefa 2011).

Le but du calage consiste à ajuster les paramètres de telle sorte que les solutions du modèle répondre aux observations de façon optimale (Hamlet 2013).

L'étalonnage du modèle a été fait manuellement, en cherchant à minimiser l'erreur quadratique moyenne (RMSE); maximiser le coefficient de corrélation, R (Yates et al, 2005b).

Le module d'hydrologie du bassin versant dans WEAP se rapproche des hydrologiques critiques qui font usage de quelques paramètres clés. Ceux-ci incluent un coefficient de plantes / culture (k_c) qui , en combinaison avec une estimation de l'évapotranspiration potentielle qui détermine les pertes par évaporation , un coefficient de résistance du ruissellement conceptuel (RRF) liées à des facteurs tels que l'indice foliaire et la pente du terrain, (avec des valeurs plus élevées de RRF on obtient la réduction rapide du ruissellement), et les paramètres de la capacité de rétention d'eau et la conductivité hydraulique qui déterminent a la réponse lente de l'écoulement hypodermique. Une fraction partitionnement (sens d'écoulement préférentiel) détermine si l'eau se déplace horizontalement ou verticalement (Brian et al. 2008; stillwatr et al. 2010).

Les paramètres d'entrée de base sont listés dans le tableau V.2 Avec les sensibilités identifiées pour chaque paramètre qui résultent des travaux de Jantzen et al. (2006).WEAP impose une structure de modèle en termes de résolution des paramètres d'entrée, ce qui signifie que WEAP force certains paramètres à décrire l'ensemble du bassin versant et d'autres à décrire des zones moins étendues telles que la classification des sols ou la catégorie d'utilisation des sols.

Tableau V.2 Paramètres d'entrées et leurs sensibilités

Paramètre	Unité	Résolution	Sensibilité	
Utilisation du sol	Superficie	Km ²	Bassin versant	Elevée
	Capacité de l'eau profonde	Mm	Bassin versant	Elevée
	Conductivité profonde	mm/j	Bassin versant	Modérée
	Z ₂ initial	/	Bassin versant	Pas d'influence
	Capacité de l'eau du sol	Mm	Sol	Modérée
	Conductivité de la zone des racines	mm/j	Sol	Modérée
	Sens d'écoulement préférentiel	/	Sol	Modérée
	Z ₁ initial	/	Sol	Pas d'influence
	Coefficient de cultures «Kc»	/	Utilisation du sol	Elevée
	L'indice foliaire	/	Utilisation du sol	Elevée
Climat	Précipitation	mm/j	Bassin versant	Elevée
	Température	C	Bassin versant	Modérée
	Vent	m/s	Bassin versant	Bas
	Humidité	%	Bassin versant	Bas
	Point de font	C	Bassin versant	Non estimée
	Piont de gel	C	Bassin versant	Non estimée
	Latitude	Dégré	Bassin versant	Non estimée
	Neige Initiale	Mm	Bassin versant	Non estimée

(Amato et al. 2006)

Dans cette étude, le modèle WEAP a été étalonné et validé pour s'assurer que les simulations de décharge correspondent parfaitement aux observations (Alazzy et al., 2014).

L'incertitude sera étudiée par le (R2) (coefficient de détermination) et le (RMSE) (erreur quadratique moyenne) pour chaque région homogène selon les expressions suivantes:

$$R2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{est} - \overline{Q_{est}}) * (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{est} - \overline{Q_{est}})^2 \sum_{i=1}^N (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}} \quad (V.1)$$

$$RMSE (\%) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{Q_{obs_i} - Q_{estm_i}}{Q_{estm_i}} \right]^2} \cdot 100 \quad (V.2)$$

Lorsque R2 est proche de 1 et que RMSE est proche de zéro, la précision élevée de la valeur estimée est meilleure. Où N est le nombre de stations; Q_{obs_i} et Q_{estm_i} sont respectivement estimés à partir du débit régional et observé.

Les données de la période (1998 à 2007) ont été utilisées pour l'étalonnage du Modèle et les données de la période (2008 à 2014) sont utilisées pour la validation comme le montre la figure V.21. Pour ce faire nous avons sélectionné quatre (4) stations hydrométriques situées sur les quatre principaux oueds du bassin versant du Mazafran avec une superficie globale de 1900km².

La station d'El Afroun (oued Djer), la taille du sous bassin versant N°1 est de 640km², la station de d'Attatba (oued Bouroumi) la taille du sous bassin N° 2 est de 291km², la station de Chiffa (oued Chiffa) la taille du sous bassin N°3 est de 681km² et la dernière station est celle du oued Mazafran la taille du sous bassin versant N°4 est de 308 km², dans la plus part des années les débits donnés par le modèles sont proches aux débits observés, les paramètres de calage sont représenté dans le tableau N°V et figure V.20

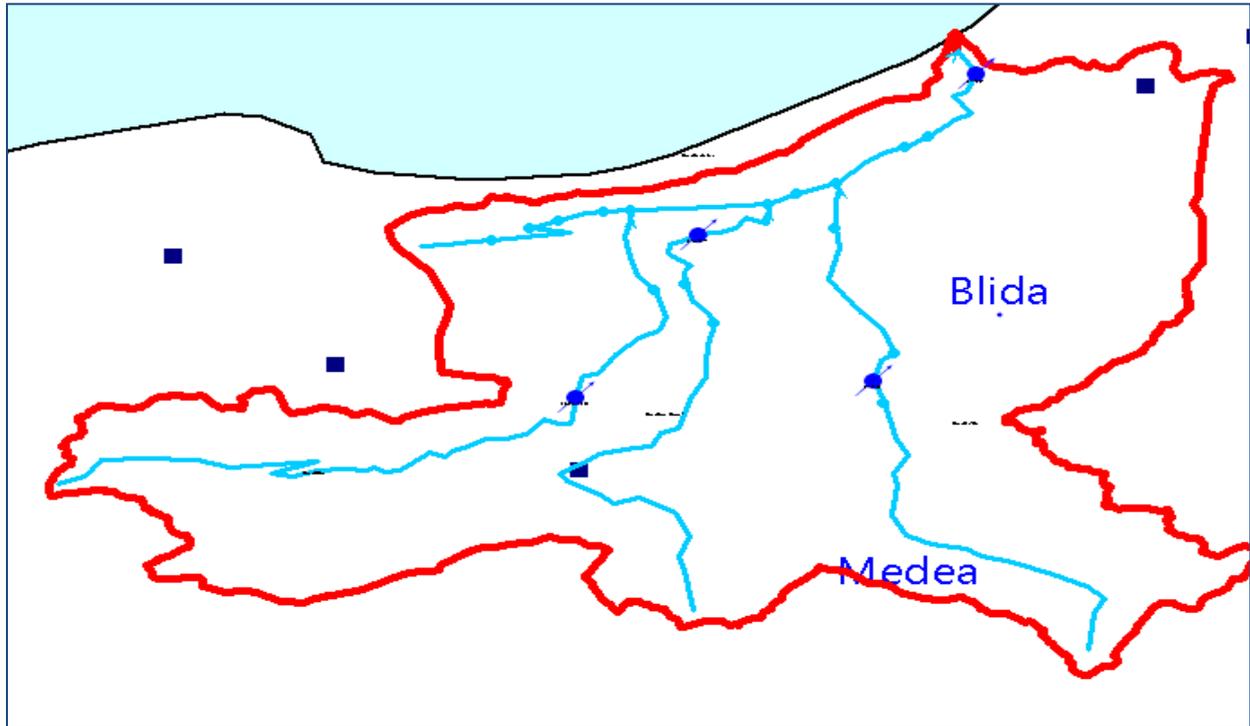


Figure V.20 les stations hydrométriques utilisées pour le calage et la validation du modèle

Tableau V.3 Comparaison des critères de calage:

Nom de la station	Période	Localisation	RMSE	R2
Fer à cheval	1998- 2007	Oued Mazafran	0.2	0.93
Amont des gorges	1998- 2007	Chiffa	0.2	0.91
Attatba	1998- 2007	Bouroumi	0.15	0.96
Elafroun	1998- 2007	Djer	0.12	0.90

Les relations entre les débits simulés et observés indiquent une forte corrélation dont les coefficients (R2) varient entre 0.90 à 0.96 pour les stations sélectionnées. Ces résultats montrent une bonne performance du modèle à reproduire la tendance du débit.

Les courbes de la figure V.21 montrent un ajustement raisonnable entre les débits calculés et observés pour les quatre stations hydrométriques utilisées.

Validation:

La validation est une opération indispensable dans le processus d'élaboration du modèle. Elle doit être basée sur des événements différents de ceux utilisés lors du calage. Pour cette étude les valeurs observées de la période (2008- 2014) sont utilisées pour la validation dont les paramètres sont représentés dans le tableau V.4

Tableau V.4 comparaison des critères de validation

Nom de la station	Période	Localisation	RMSE	R2
Fer à cheval	2008-2014	Oued Mazafran	0.22	0.89
Amont des gorges	2008-2014	Chiffa	0.19	0.93
Attatba	2008-2014	Bouroumi	0.18	0.94
Elafroun	2008-2014	Djer	0.14	0.87

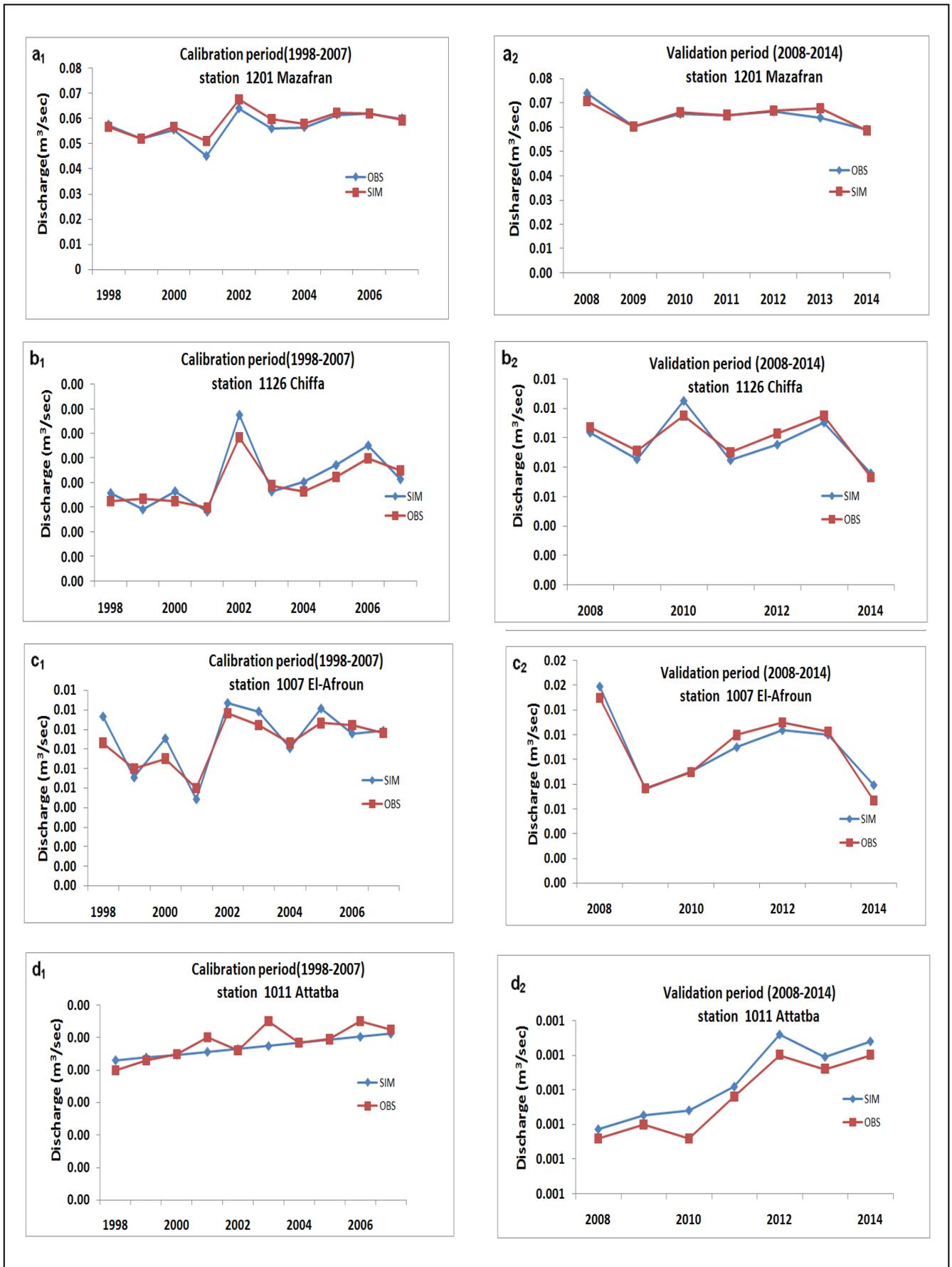


Figure V.21 Calibration et validation du modèle WEAP(a1,b1,c1, et d1: période de calibration , a2,b2,c2, et d2: période de validation).

Conclusion:

La configuration du modèle WEAP dans la région d'étude a été dressée avec une configuration des deux scénarios climatiques proposés, après un calage et une validation du modèle sur le bassin retenu: par l'identification des paramètres clefs du modèle et savoir comment le modèle répond-t-il aux variations des valeurs des paramètres.

Chapitre VI : ANALYSE DES RESULTATS DES SCENARIOS

VI -1 Evolution de la population :

La population de la région d'étude (pour les 17 communes intégrées dans le bassin versant du Mazafran qui fait partie de la plaine de la Mitidja) est présentée dans le modèle WEAP séparément pour chaque commune qu'on a considéré comme des sites de demande (Figure VI.1)

Cette évolution de la population est calculée par le modèle WEAP en tenant compte du taux d'accroissement de cette dernière jusque à l'horizon 2050.

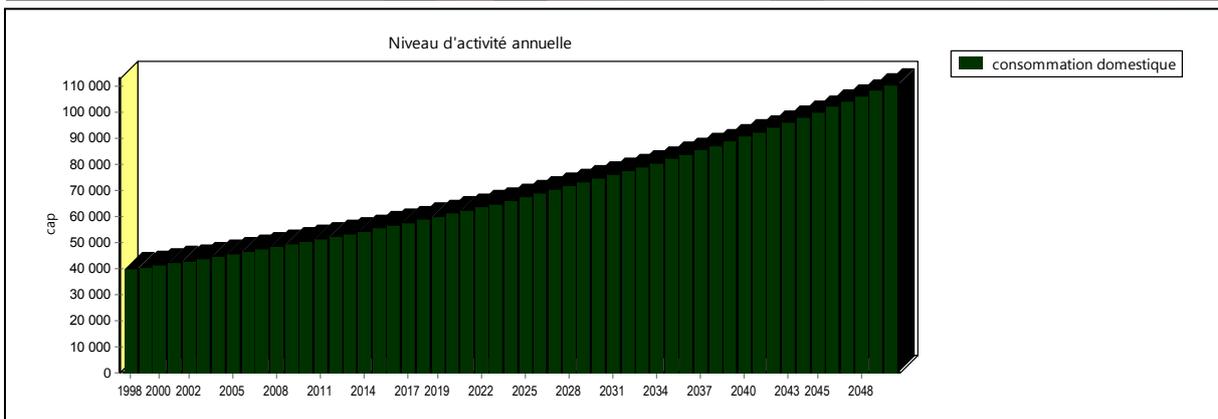
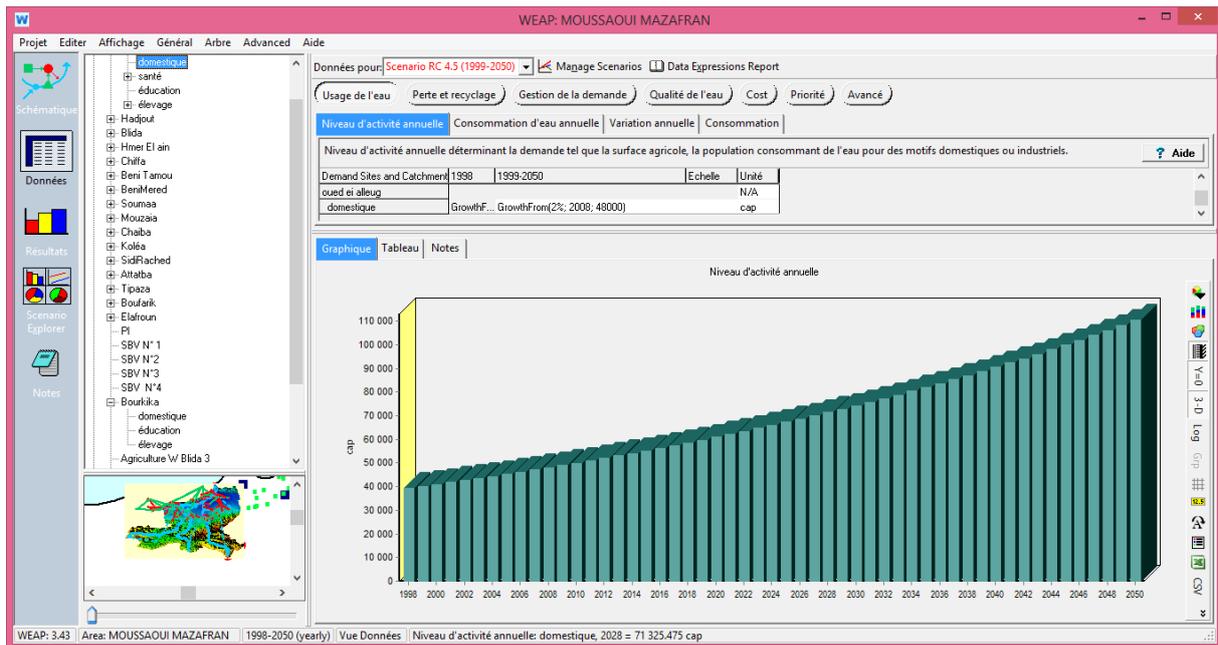


Figure VI.1 exemple de l'évolution de la population pour un seul site de demande scénario RC4.5 (exemple la ville de Oued el alleug)

VI- 2 Projection des ressources en eau:

VI-2-1 Evapotranspiration:

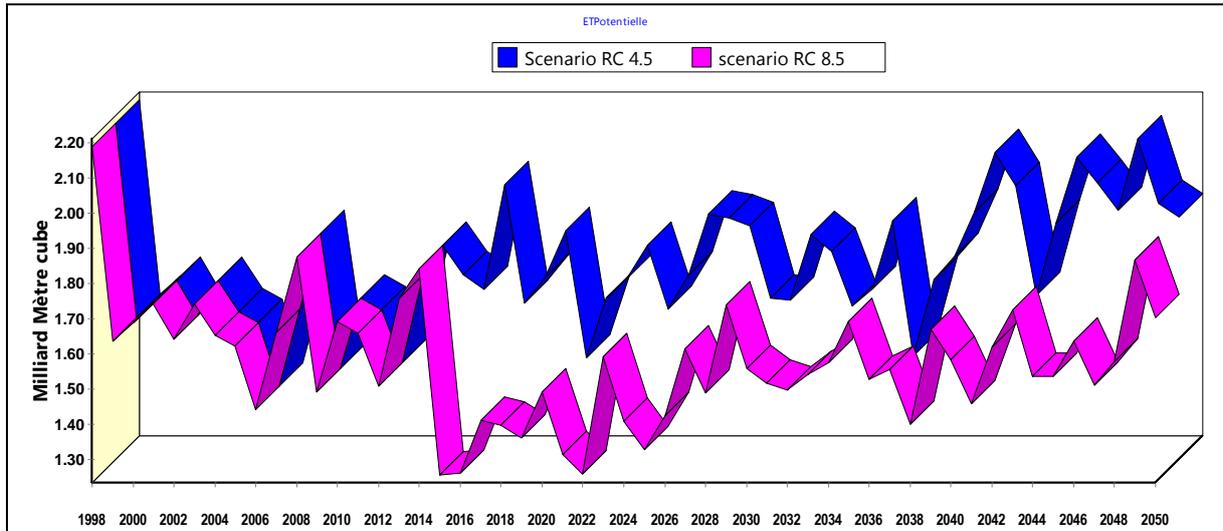


Figure VI.2 évolution de l'évapotranspiration

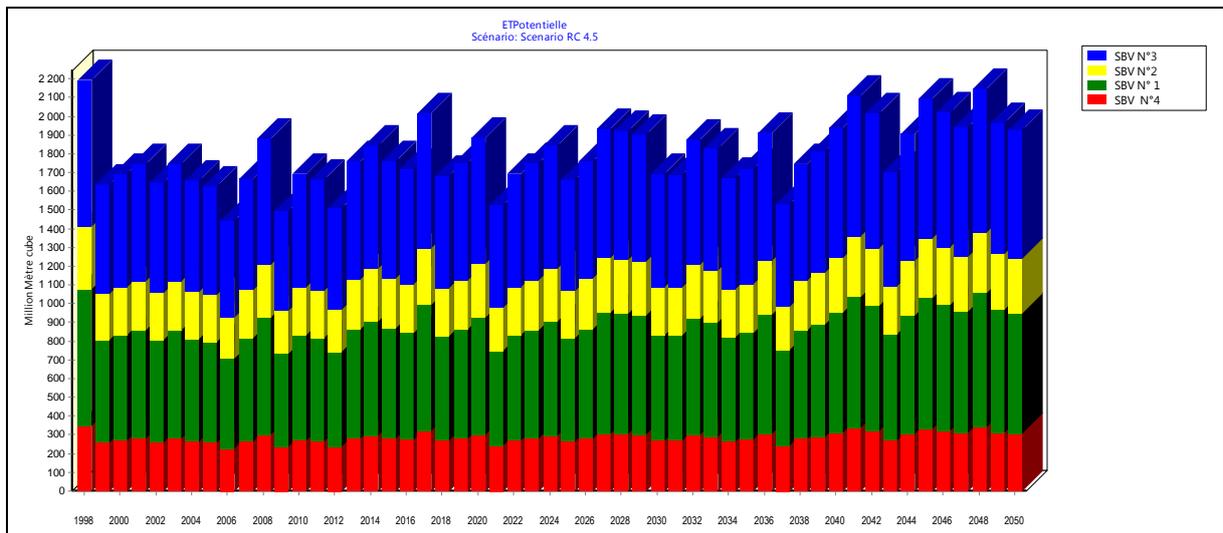


Figure VI.3 évolution de l'évapotranspiration par sous bassins pour le scénario RC4.5

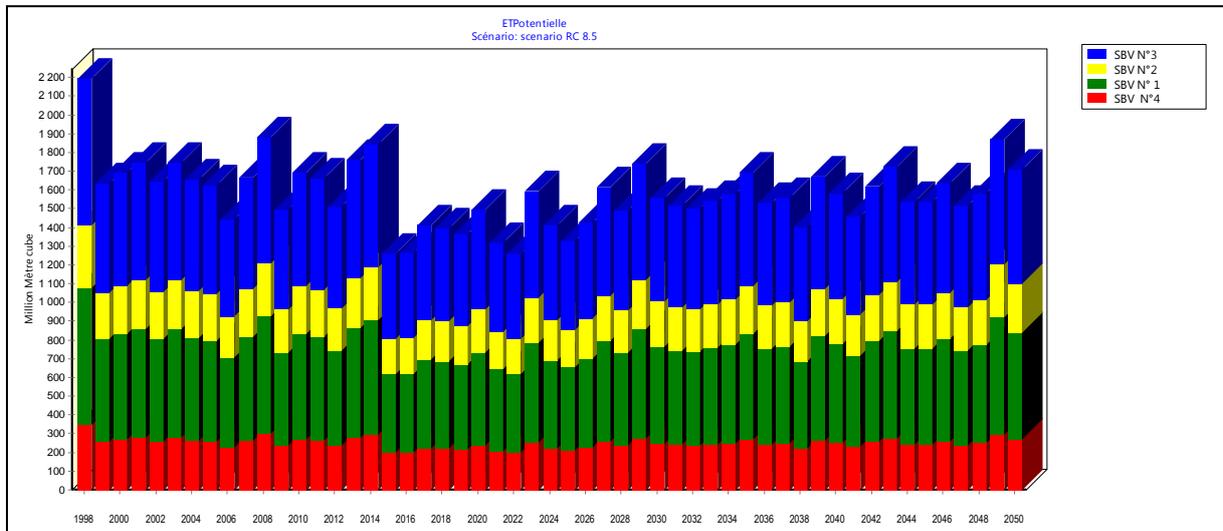


Figure VI.4 évolution de l'évapotranspiration par sous bassins pour le scénario RC8.5

L'évapotranspiration maximale a été enregistrée en 1998 avec une valeur de l'ordre de 2.19 Milliard de m³ (figure VI.2). Cette année correspond à l'année la plus chaude avec une température moyenne annuelle observée de 21.54°C, tandis que l'évapotranspiration minimale a été observée en 2006 avec une valeur de 1.44 Milliard de m³ et une température moyenne annuelle de 17.58°C. Selon les sorties du model CORDEX Afrique (Zeroual, 2016), pour les températures et précipitations, pour les années 2048 et 2021, l'évapotranspiration va atteindre les valeurs de 2.146 Milliard de m³ et de 1.523 Milliard de m³ respectivement ce qui correspond aux valeurs projetées des températures de 20.79°C et 19.08°C respectivement pour le scenario RC4.5. Par contre, pour le scenario pessimiste RC 8.5, l'évapotranspiration va atteindre la valeur minimale de 1.256 Milliard de m³ en 2022, ce qui correspond à une température de 17.44°C; et en 2049 où l'évapotranspiration atteindra une valeur de 1.866 Billion m³ correspondant à la température de 19.60 °C. On constate que pour le second scenario, l'évapotranspiration sera plus importante relativement aux valeurs des précipitations respectives projetées, et elle aura un effet négatif sur les ressources en eau. Ces projections corroborent avec celles obtenues pour le Maroc (Karmaoui et al., 2014) et pour la syrie (Alazzy et al., 2014) dans les bassins Méditerranéens.

Ces variations montrent qu'il y a des alternances des années humides, normales et sèches, qui peuvent jouer à la fois sur le cycle annuel de l'eau et sur les extrêmes comme les risques d'inondation et de sécheresse, et ainsi affecter durablement l'hydro-système (eau courante, eau stagnante, eaux semi-aquatiques ou terrestres, eaux superficielles ou souterraines) (Florence et al. 2011). L'agriculture et l'urbanisme, éléments importants sur le bassin du Mazafran, devront s'adapter pour mieux supporter l'élévation de la température et l'évolution de la ressource en eau.

VI-2-2Ruissellement / Infiltration

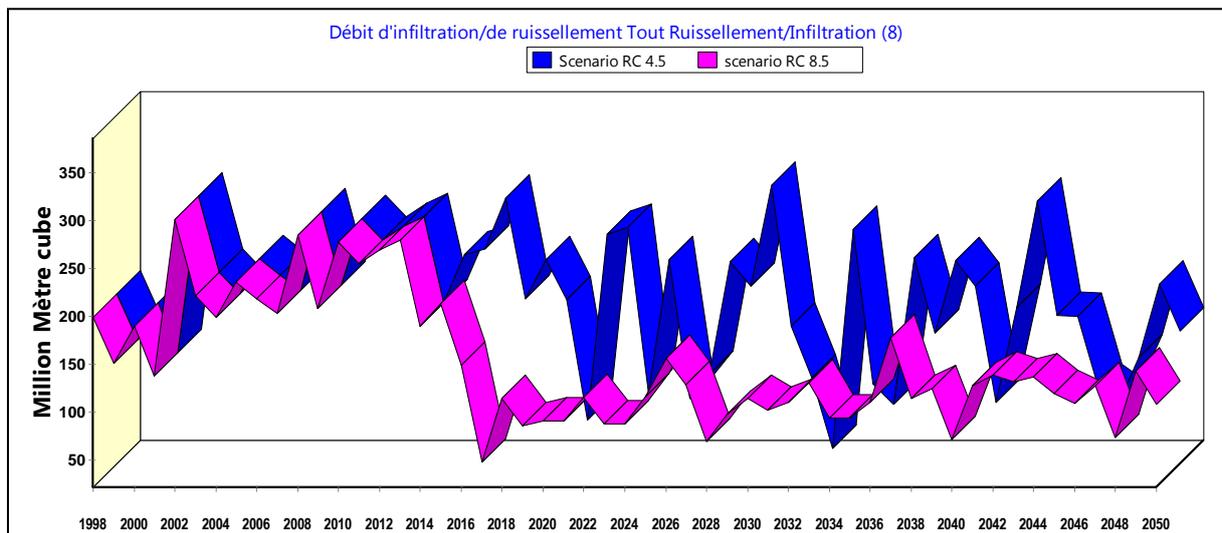


Figure VI.5 évolution du ruissellement /infiltration pour les deux scénarios

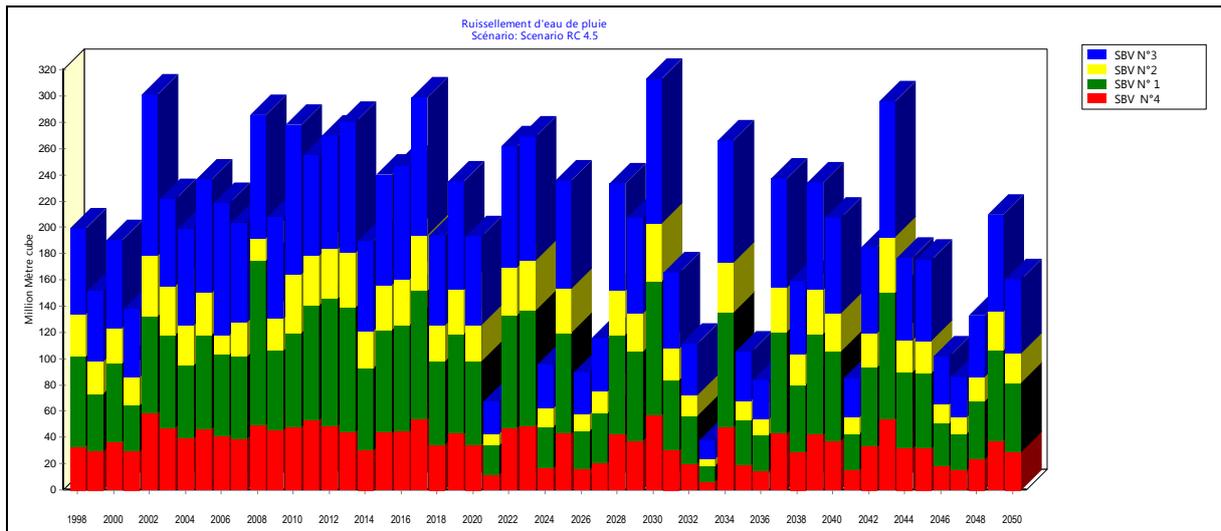


Figure VI.6 évolution du ruissellement /infiltration par sous bassins pour le scénario RC4.5

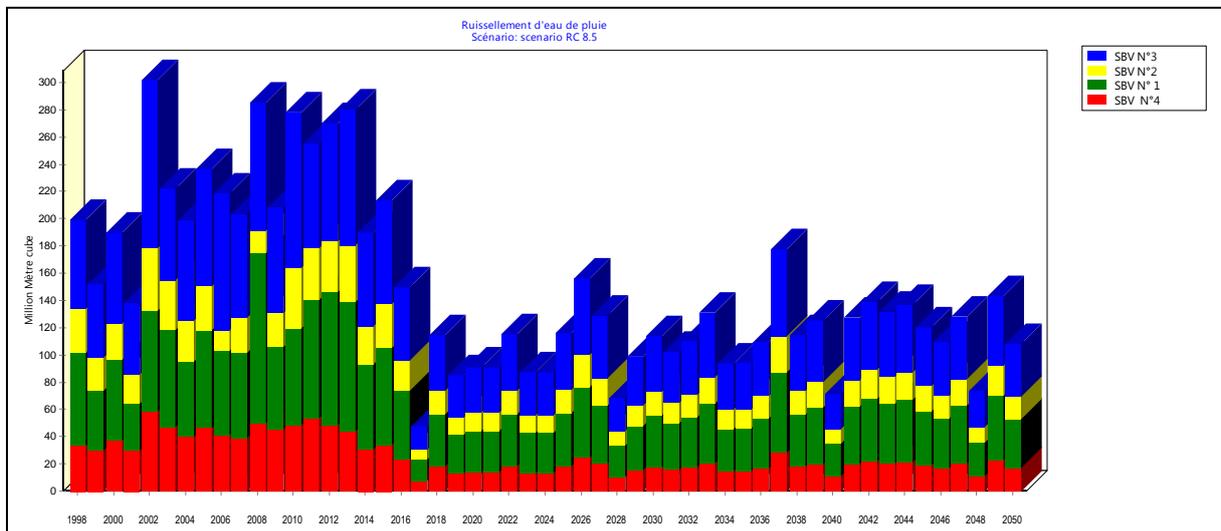


Figure VI.7 Evolution du ruissellement /infiltration par sous bassins pour le scénario RC8.5

Ces graphique présente le débit de ruissellement d'eau de pluie qui alimente l'écoulement de surface matérialisé par les réseau hydrographiques et les réservoirs d'eau souterraine par infiltration, en analysant le graphe donné par WEAP, la valeur maximale du débit de ruissèlement/infiltration sera enregistrée en 2030 pour atteindre la valeur de 312.366 Mm^3 , ce qui reflète l'année la plus pluvieuse pour les projections des pluies ,par contre l'année 2033 il y aura un enregistrement de volume minimal de ruisselement de 37.03 Mm^3 ,ce qui reflète l'année la moins pluvieuse de la période étudiée pour le scenario RC4.5. Ces valeurs sont moindres pour le scenario RC8.5 où la valeur maximale de ruissellement/infiltration sera enregistrée en 2037, pour atteindre 177.156 Mm^3 ce qui correspond à l'année la plus pluvieuse; et la valeur minimale de 47.416 Mm^3 sera enregistrée en 2017 qui coïncide avec l'année la moins pluvieuse (figure VI.7) .

D'après l'analyse de ces résultats pour les deux scénarios des changements climatiques, on peut constater que pour les années les plus pluvieuses, on peut avoir une augmentation des débits de ruissèlement qui peuvent être les causes des inondations et avoir un déficit dans la réalimentation des nappes souterraines qui du à une réduction de l'infiltration, tenant compte du type et l'occupation du sol. Les eaux infiltrées à travers les zones perméables constituent les principales sources d'alimentation des aquifères profonds. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par (RADP, 2010) pour le bassin du chélif Algérie.

VI-2-3 Eau souterraine

Les eaux souterraines assurent la grande partie de l'alimentation en eau potable dans le bassin étudié. Elles sont exploitées par la PMH ainsi que pour l'AEP des grandes villes, Les ressources en eau prélevées (et utilisées) dans le bassin étudié est presque en totalité d'origine souterraine ; Le graphe ci-dessous (Figure VI.8) montre l'évolution des quantités d'eaux souterraines disponibles ou l'évolution des stockages d'eau dans les aquifères concernés dans le bassin jusqu'à l'horizon 2050, en tenant compte de l'effet des changements climatiques.

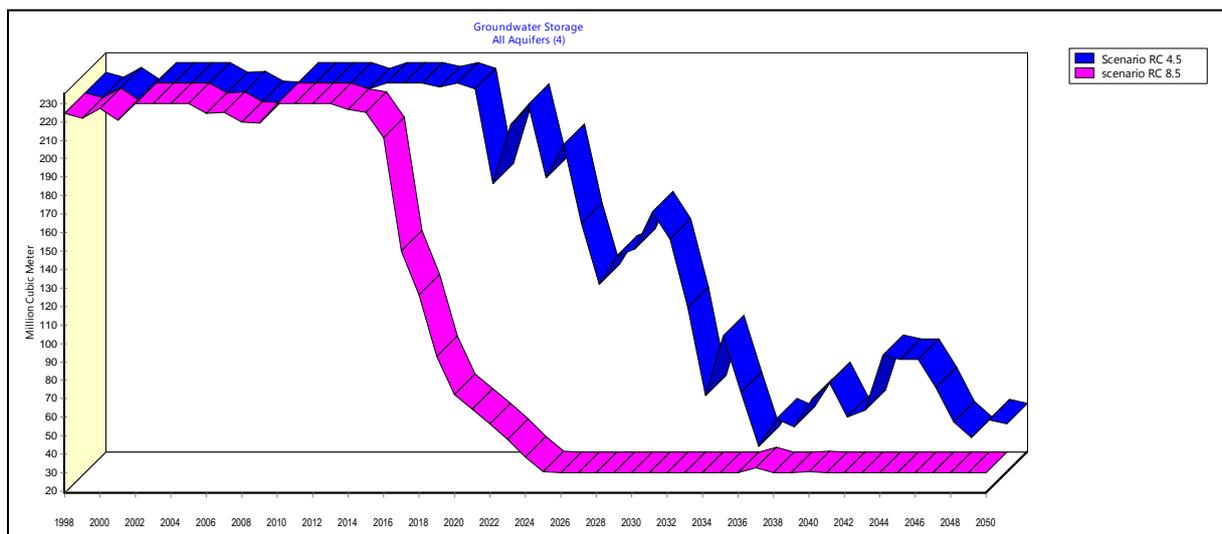


Figure VI.8 Evolution du stockage des eaux souterraines jusqu'à 2050

L'évolution du stockage (Figure VI.8) montre l'évolution des quantités d'eaux souterraines. On constate que le stockage reste constant entre 1998 et 2018 avec un volume égal à 230 millions de m³. Par contre, on constate une baisse du stockage d'eau qui atteindra les 230 Mm³ en 2019 et 46.73 Mm³ en 2050, cette baisse est en relation avec la pluviométrie projetée pour les années futures (Figure N°2 de l'évolution de la pluie), pour le scénario RC 4.5. Par contre pour le scénario RC8.5, une baisse de stockage importante qui passe de 211.377 Mm³ en 2017 à 30.477 Mm³ en 2025 et reste presque constant jusqu'à 2050. Cette tendance négative aura une influence sur la recharge de la nappe qui va à son tour subir une surexploitation due à l'accroissement de la demande, et une baisse des niveaux de pression hydrostatique qui va entraîner la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja.

Cette baisse de stockage va engendrer une perturbation dans les volumes d'eau souterraine mobilisée pour les différents usages.

Les figures VI.9 et VI.10 montrent les débits entrants des eaux souterraines. Ces graphes ont permis d'analyser la variation de stockages, les vidanges et les recharges naturelles des nappes.

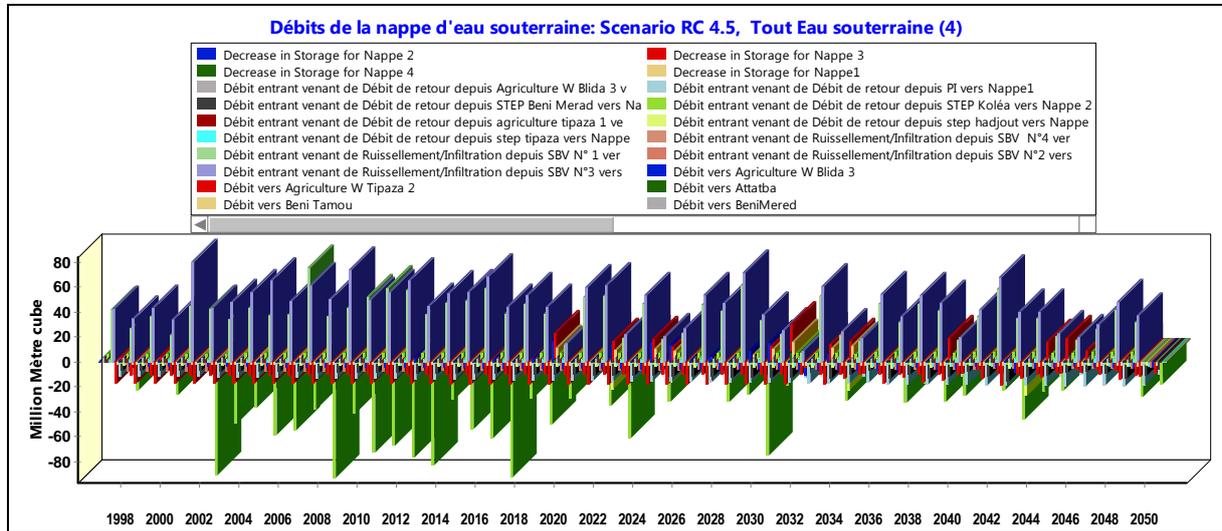


Figure VI.9 Débit entrant des eaux souterraines pour le scénario RC4.5 à l'horizon 2050

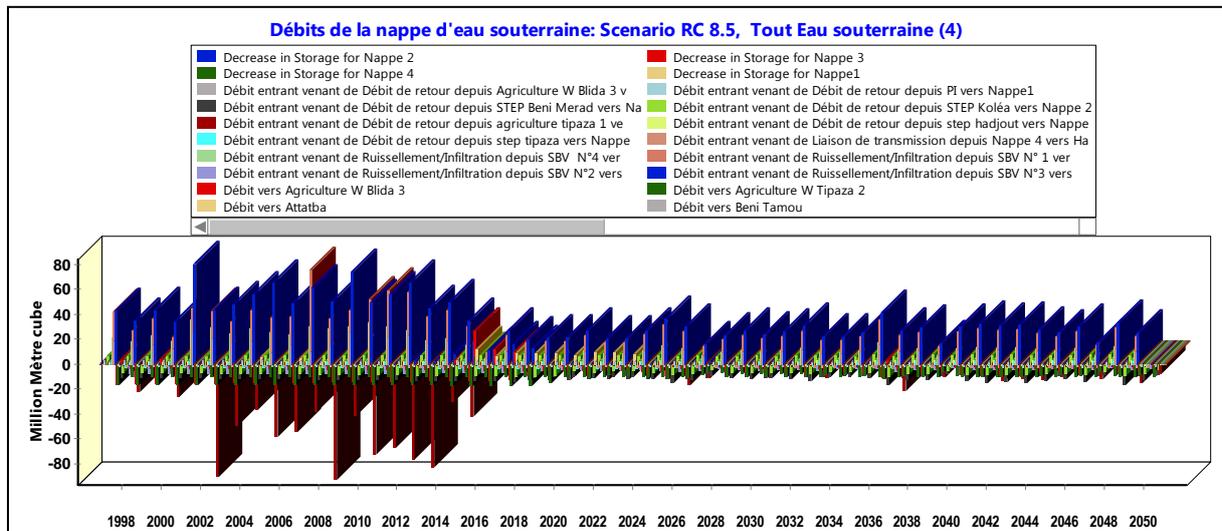


Figure VI.10 Débit entrant des eaux souterraines pour le scénario RC8.5 à l'horizon 2050

VI-2-4 Eaux de surface

a- Cours d'eau:

L'eau de surface dans le bassin du Mazafran est employée en grande partie pour l'agriculture.

1- Oued Mazafran

La station du fer à cheval sur l'oued Mazafran a été choisie pour étudier les écoulements à l'horizon 2050 (figure VI.11), cette dernière montre des tendances et des variations des écoulements jusqu'à l'an 2050.

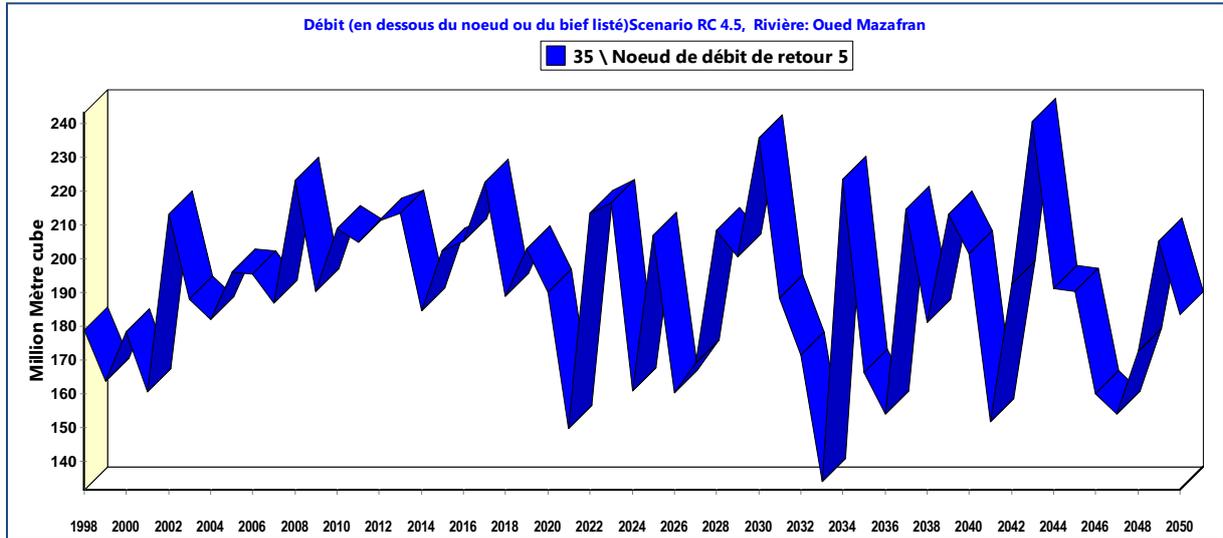


Figure VI.11 la simulation du débit d'Oued Mazafran (scénario RC4.5)

L'analyse de ces résultats montre pour le scénario RC4.5, une diminution remarquable de l'ordre de 29% en 2033 pour atteindre un volume de 134.01 Mm^3 comparé à la période de référence (1998-2014) avec un volume moyen de 189.85 Mm^3 . Cette année sera la moins pluvieuse de la période de projection avec une précipitation de 94.6 mm/an . Pour l'année 2043, on enregistre une augmentation de 26.7% pour atteindre un volume 240.4 Mm^3 .

Elle constituera l'année la plus pluvieuse de la période de projection avec une précipitation moyenne de 755.4 mm/an . Ces résultats sont présentés dans le tableau 1 de l'annexe N°4.

Pour le scénario RC8.5 (figure VI.12) et pour la même station, on enregistre une diminution remarquable de l'ordre de 31.6% pour les années 2028 et 2040 pour atteindre un volume de l'ordre de 129.84 Mm^3 et 129.88 Mm^3 respectivement. Ces deux années seront les moins pluvieuses sur toute la période de projection des précipitations de 178.4 mm/an et 184.8 mm/an respectivement tableau 2 annexe N°4.

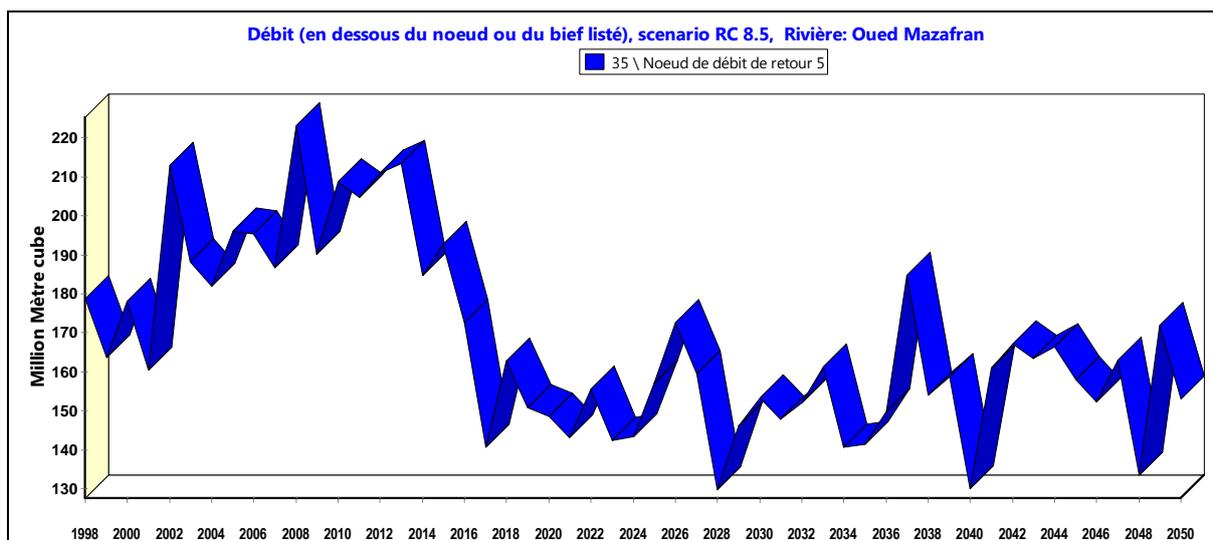


Figure VI.12 la simulation du débit d'Oued Mazafran (scénario RC8.5)

2- Oued Bouroumi

Le graphe de la figure VI.13 présente la variation des écoulements au niveau d'oued Bouroumi pour le scénario RC4.5. L'analyse de cette évaluation montre une diminution des débits très élevée de l'ordre de 81% par rapport au débit moyen de la période de référence qui est de 12.55Mm^3 . Elle atteint un volume de 2.37Mm^3 en 2033. Elle correspond à l'année la moins pluvieuse pour toute la période de projection (c'est une année sèche). Par contre pour les années 2030 et 2043 une augmentation de 59% et 50.6% respectivement. Elle atteint les volumes 19.954Mm^3 et 18.895Mm^3 ce qui correspond aux années les plus humides pour toute la période de projection. Ces résultats sont représenté dans les tableau 1 de l'annexe N°4.

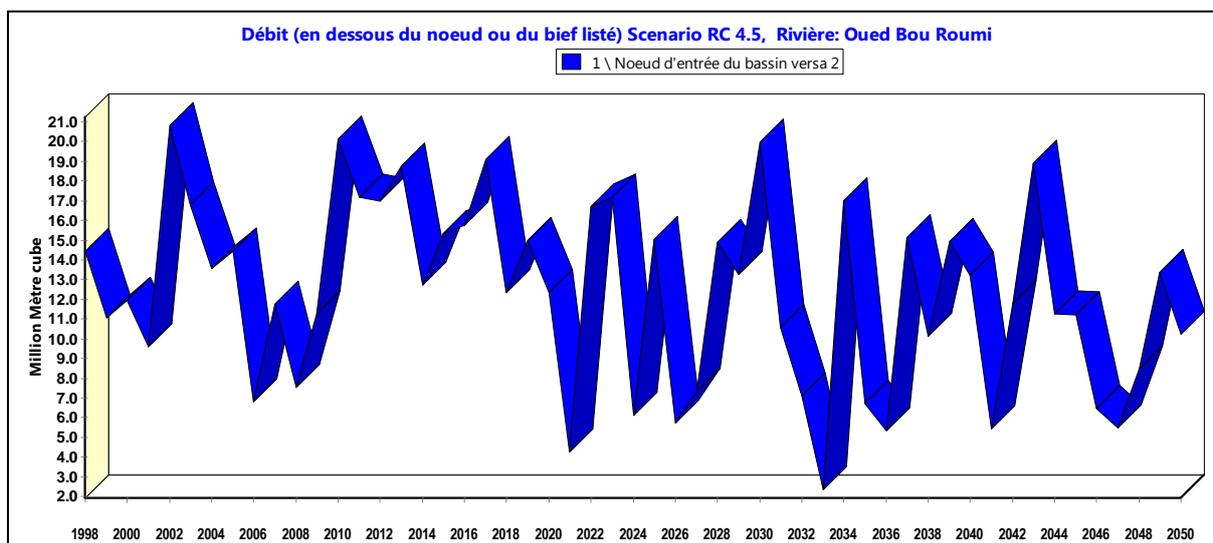


Figure VI.13 la simulation du débit d'Oued Bouroumi (scénario RC4.5)

Le graphe de la figure VI.13 présente la variation des écoulements au niveau d'oued Bouroumi pour le scénario RC8.5. L'analyse de cette évaluation montre une diminution de l'ordre de 65.2% par rapport au débit moyen de la période de référence qui est de 12.55Mm^3 . Elle atteint un volume de 4.67Mm^3 en 2028 ce qui correspond à l'année la moins pluvieuse

pour la toute la période de projection du deuxième scénario (c'est une année sèche). Par contre pour l'année 2037 une faible diminution de l'ordre de 3.7% par rapport au débit moyen de la période de référence qui est de 12.55Mm³, pour atteindre le volume de 12.08%. Ces résultats sont représentés dans les tableau 2 de l'annexe N°4.

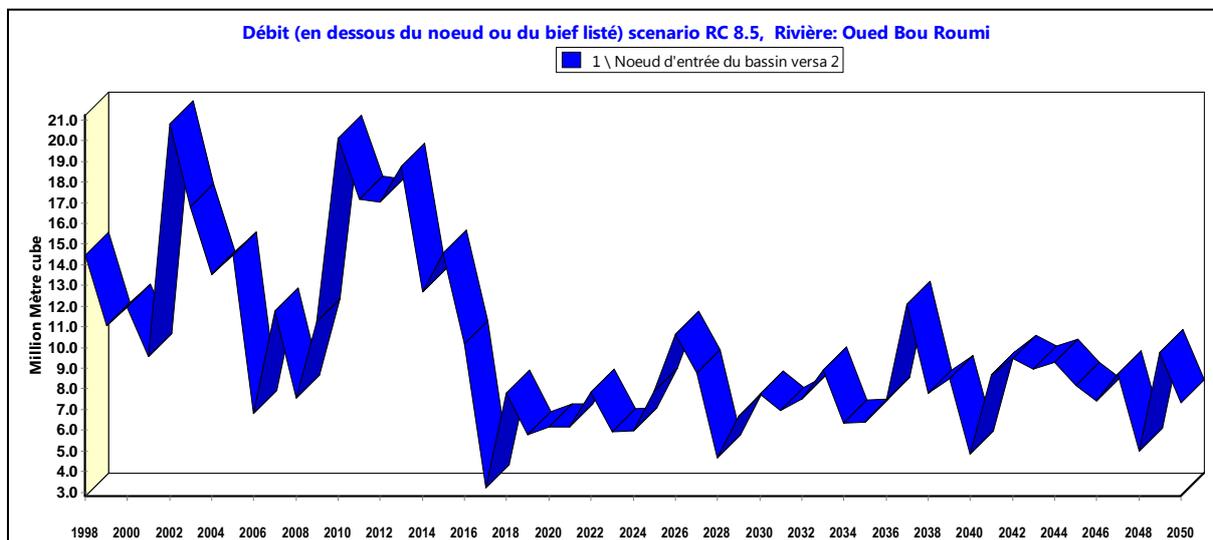


Figure VI.14 la simulation du débit d'Oued Bouroumi (scénario RC8.5)

3- Oued Chiffa

Le graphe de la figure VI.15 présente la variation des écoulements au niveau d'oued Chiffa pour le scénario RC4.5. L'analyse de cette évaluation montre une diminution très élevée des débits de l'ordre de 83.6% par rapport au débit moyen de la période de référence qui est de 27.56Mm³. Elle atteint un volume de 4.52 Mm³ en 2033 ce qui correspond à l'année la moins pluvieuse pour toute la période de projection (c'est une année sèche). Par contre pour l'année 2030 une augmentation de 38.25% , pour atteindre le volume 38.103Mm³ ce qui correspond à l'année la plus humide pour toute la période de projection. Ces résultats sont représenté dans les tableau 1 de l'annexe N°4.

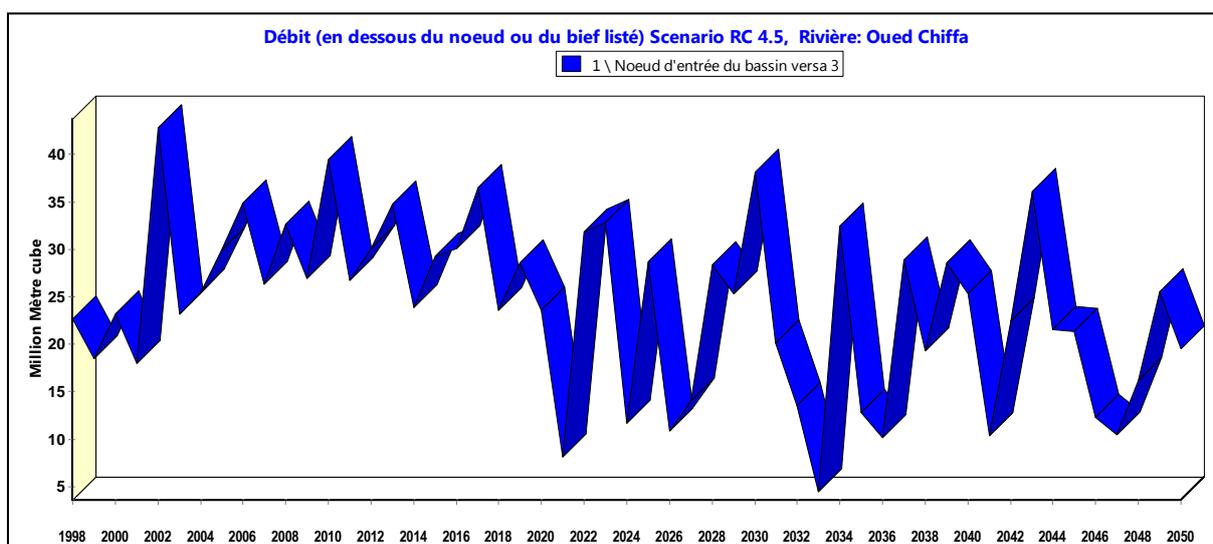


Figure VI.15 La simulation du débit d'Oued Chiffa (scénario RC4.5)

Le graphe de la figure VI.16 présente la variation des écoulements au niveau d'oued Chiffa pour le scénario RC8.5. L'analyse de cette évaluation montre qu'une diminution des débits de l'ordre de 69.1% par rapport au débit moyen de la période de référence qui est de 27.56Mm³. Elle atteint un volume de 4.67 Mm³ en 2028 ce qui correspond à l'année la moins pluvieuse pour toute la période de projection du deuxième scénario (c'est une année sèche). ces résultats sont représenté dans le tableau 2 de l'annexe N°4.

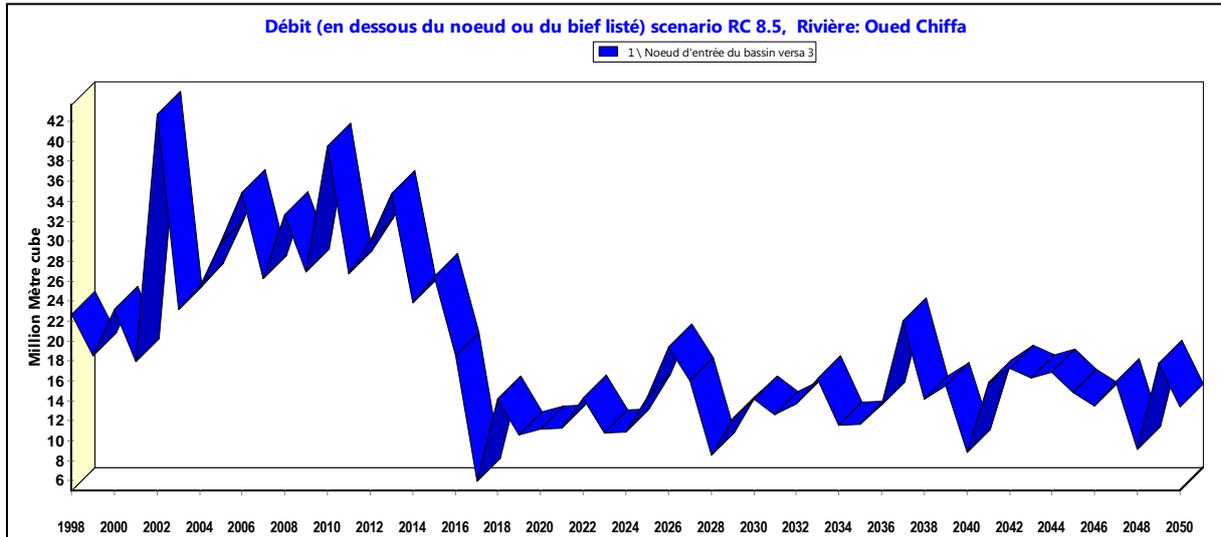


Figure VI.16 la simulation du débit d'Oued Chiffa (scénario RC8.5)

3- Oued Djer

Le graphe de la figure VI.17 présente la variation des écoulements au niveau d'oued Djer pour le scénario RC4.5. L'analyse de cette évaluation montre une diminution des débits très élevée de l'ordre de 83.4% par rapport au débit moyen de la période de référence qui est de 29.36Mm³. Elle atteint un volume de 4.84 Mm³ en 2033 ce qui correspond à l'année la moins pluvieuse pour toute la période de projection (c'est une année sèche). Par contre pour les années 2030 et 2043 une augmentation de 39.1% et 31.7% respectivement. Elle atteint les volumes 40.84Mm³ et 38.68 Mm³ ce qui correspond aux années les plus humides pour toute la période de projection pour le scénario RC4.5. Ces résultats sont représenté dans le tableau 1 de l'annexe N°4 .

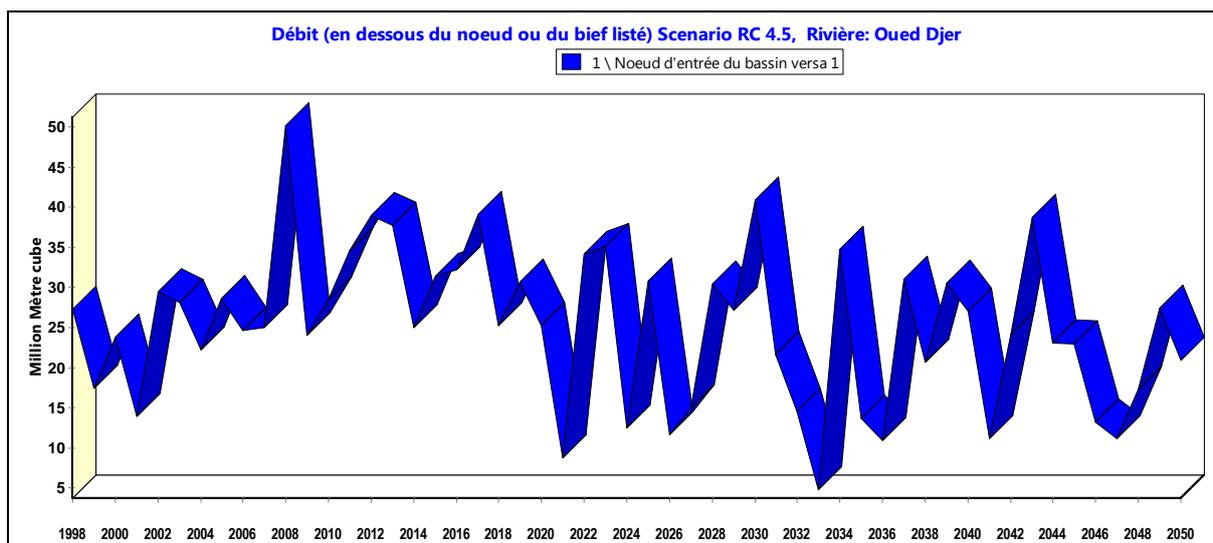


Figure VI.17 la simulation du débit d'Oued Djer (scénario RC4.5)

Le graphe de la figure VI.18 présente la variation des écoulements au niveau d'oued Djer pour le scénario RC8.5. L'analyse d'évaluation montre une diminution des débits de l'ordre de 68.9% par rapport au débit moyen de la période de référence qui est de 29.36Mm³. Elle atteint un volume de 9.14Mm³ en 2028 ce qui correspond à l'année la moins pluvieuse pour toute la période de projection du deuxième scénario (c'est une année sèche). ces résultats sont représenté dans le tableau 2 de l'annexe N°4 .

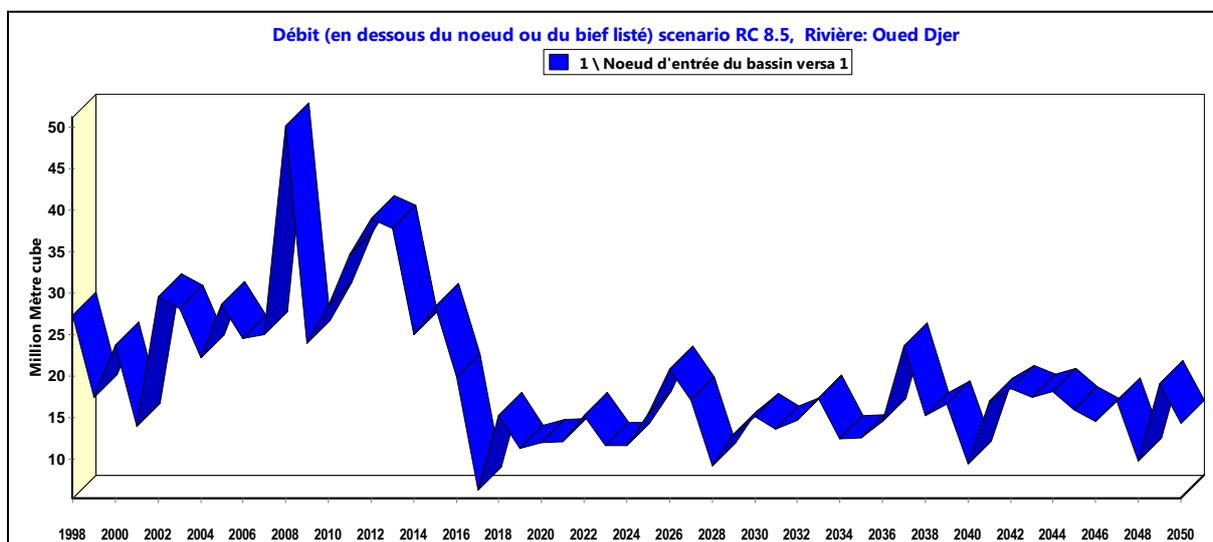


Figure VI.18 la simulation du débit d'Oued Djer (scénario RC8.5)

Pour les quatre oueds du bassin versant du Mazafran des diminutions remarquables des débits issues de la simulation pour le scénario RC4.5. Ces diminutions seront dues au baisse des pluies projetées et la hausse des températures projetées.

Dans notre étude, les seuils de sécheresse proposés par Meddi H. et Meddi M. (2009) dans la région de la Mitidja ont été adoptés (tableau VI.1):

Tableau VI.1 Seuils en millimètres des années sèches, très sèches, humides et très humides ; par la méthode des quintiles, période (1940-2003).

Plaines	Stations	Années très sèches	Années sèches	Années normales	Années humides	Années très humides
Mitidja	Dar El Beida	501,3	597,8	597,8 < X < 689,9	689,9	802,4
Haut Chélif	Ghrib Bge	386,6	455,5	455,5 < X < 520,9	520,9	575,0
Habra-Sig	Mohammadia GRH	257,7	308,4	308,4 < X < 357,0	357,0	416,3
Ghriss	Bouhanifia Bge	231,4	280,4	280,4 < X < 328,0	328,0	386,2
Sidi Bel Abbess	Tessala	306,1	413,1	413,1 < X < 520,7	520,7	657,8
Maghnia	Maghnia	256,4	323,2	323,2 < X < 388,6	388,6	469,9

En se basant sur ces seuils, nous avons trouvé les résultats consignés dans le tableau suivant :
Tableau VI.2 : Pourcentage de variation du type de climat le long de la période de projection

Période	Années très sèches	Années sèches	Années normales	humides
2020-2029	60%	0	40%	0
2030-2039	60%	10%	20%	10%
2040-2050	90%	0	10%	0

D'après ce tableau, il est à remarquer que:

La décennie 2040-2050 sera caractérisée par 90% d'années très sèches ce qui montre la rareté entremis d'impact sur la disponibilité des ressources en eau superficielles et souterraines. Cet état de fait amène les gestionnaires à prendre des mesures adéquates.

Les effets des changements climatiques sur les régimes d'écoulement et les niveaux d'eau se répercuteront sur les approvisionnements en eau. La diminution de ces approvisionnements en eau de surface et en eau souterraine ainsi que l'augmentation de la demande de ces ressources remettraient en question tous les aspects de la gestion des ressources en eau. La tendance et la diminution des débits annuels suite à la diminution des précipitations et à l'augmentation des températures à l'horizon 2050. Ce qui va être traduit par des conséquences négatives sur la disponibilité de l'eau et sa qualité. Par conséquent, il est impératif de prendre des mesures d'adaptation.

Nous constatons que la réduction sera plus conséquente dans le cas du scénario pessimiste (RC8.5). Ces constats demandent une prise de conscience de la part des gestionnaires pour mettre en place des moyens nécessaires afin de pallier à ces insuffisances en termes de ressources en eau aux horizons futurs.

b/ Barrages

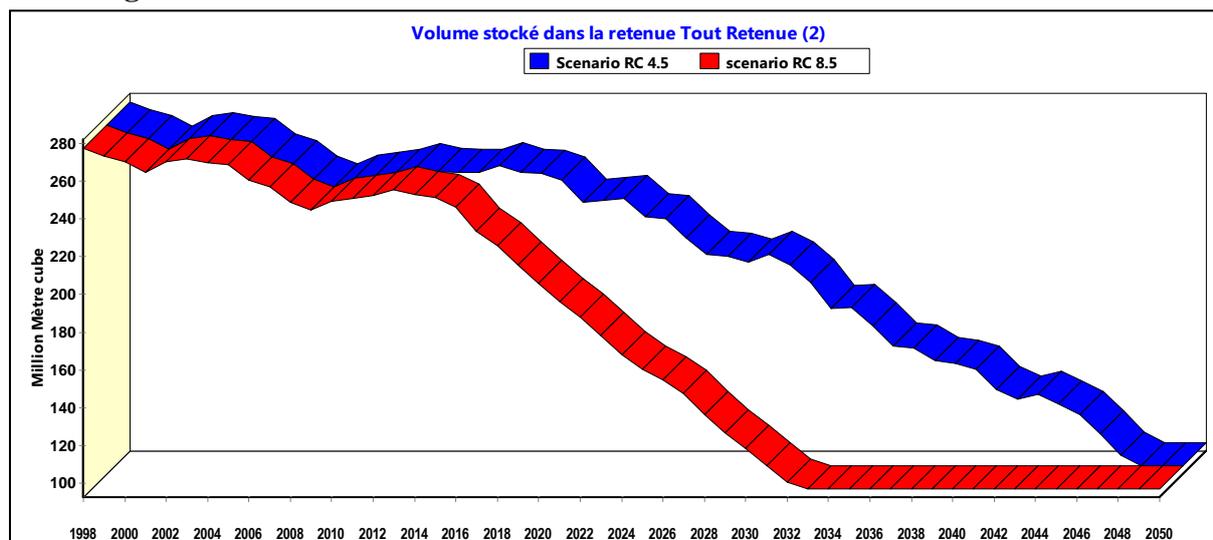


Figure VI.19 Evolution du stockage dans les deux barrages

La figure VI.19 présente l'évolution du stockage des eaux du surface (barrages). On constate la baisse des volumes d'eau stockés de 280Mm^3 en 1998 à 251.51Mm^3 en 2010, et un volume de 244.92Mm^3 sera enregistré en 2021. La diminution sera très accentuée dès 2022 pour atteindre un volume de 97Mm^3 en 2050 pour le scénario RC4.5. Cette réduction sera plus importante dans le scénario pessimiste (RC8.5) où la réduction débutera plutôt à partir de 2018 avec un volume de 225.5Mm^3 pour atteindre la valeur de 97Mm^3 en 2033. Ce volume restera constant jusqu'à 2050. Cette variation du stockage est proportionnelle aux températures projetées qui vont causer une augmentation conséquente de l'évaporation ajoutée à la demande élevée des sites de demande à cet horizon.

La variation du stock des réservoirs dépend de la politique de gestion adoptée et des apports en eau du système total.

Les courbes de la figure VI.19 illustrent les trajectoires moyennes simulées de la dynamique des réservoirs à l'horizon 2050 ainsi que la période de référence (1998-2014). On constate que l'évolution interannuelle des stocks d'eau simulée sera influencée par les changements du climat (modification des apports dans le réservoir et des sollicitations en termes d'usages). Ces résultats corroborent ceux de Dupeyrat et al. (2008) obtenus sur le bassin de la Garonne en France et ceux de Tazen (2015) pour le réservoir de Boura au Burkina-Faso. La variabilité des trajectoires de stocks d'eau dépend fortement de la variabilité des apports au réservoir (Parent, 1991). A l'horizon 2050, pour le scénario RCP8.5, les trajectoires du réservoir sont quasiment différentes aux trajectoires du scénario RCP4.5 en termes d'amplitude. Ces courbes permettent d'apprécier la modification de la ressource sous l'effet des changements climatiques et de l'approvisionnement.

Evolution de la population :

La population de la région d'étude est estimée à environ 615956 habitants en 1998, à l'horizon 2050, la population sera de 1724880 habitants.

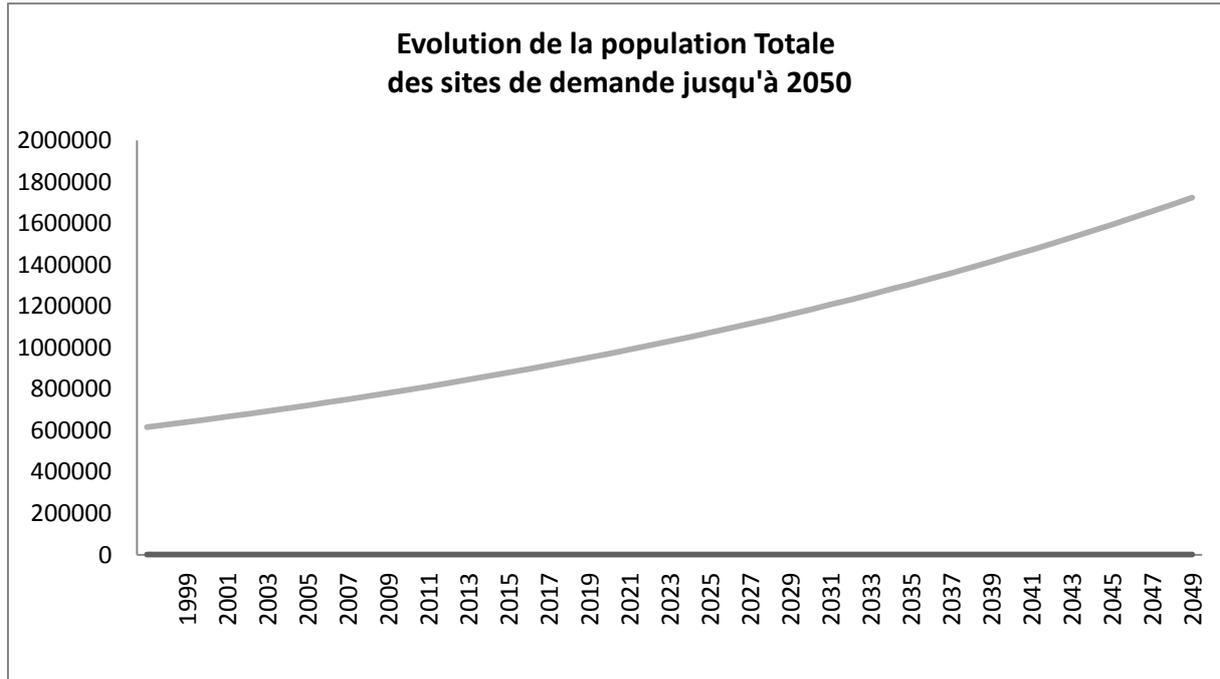


Figure VI.20 Evolution de la population de la région jusqu'à 2050

VI-2-5 Projection de la demande en eau à l'horizon 2050:

Pour les deux scénarios (RCP4.5 et RCP8.5), l'évolution de la demande est représentée dans la figure VI.21

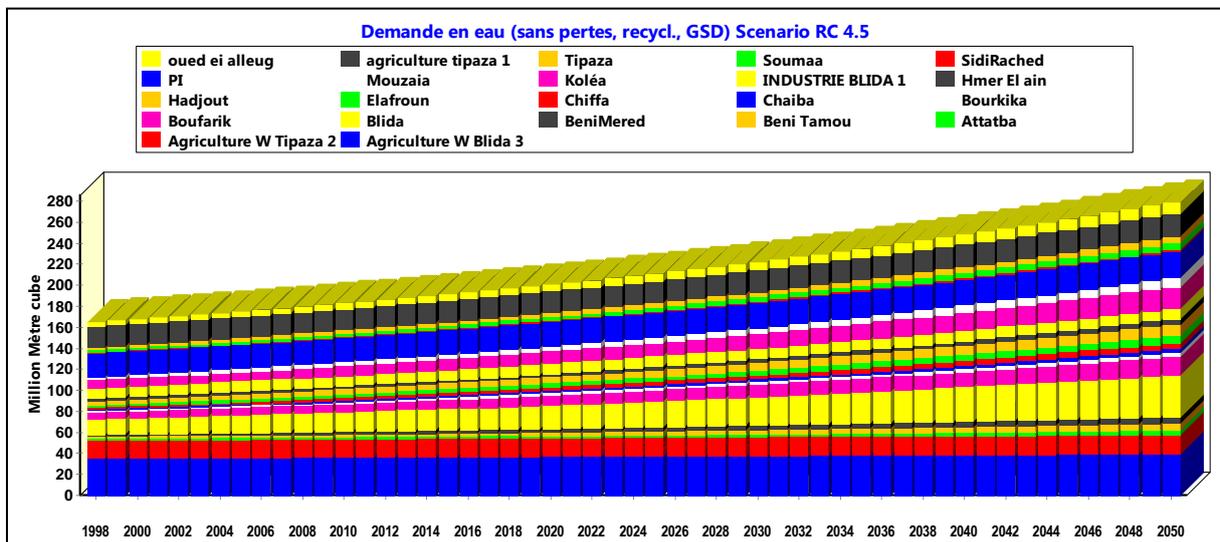


Figure VI.21 Evolution de la demande en eau pour tous les sites de demande de la zone d'étude pour les deux scénarios jusqu'à 2050.

D'après le graphe, on remarque qu'il y a une forte demande en eau potable, en raison de la croissance de la population et le développement socio-économique.

Les demandes en eau pour l'année de référence sont estimées à 164.576Mm^3 , et sont réparti comme suit : 60.873Mm^3 pour l'eau potable, 93.703Mm^3 pour l'irrigation et 10Mm^3 sont pour l'industrie.

VI-2-6 Evolution de l'offre :

La figure VI.22 montre l'évolution de la ressource en eau jusqu'à 2050, on remarque que cette évolution est proportionnelle à la variation du climat pour le scénario RCP4.5. Pour les deux années les plus pluvieuses (2030 et 2043), les débits entrants dans l'air seront de l'ordre de 1686Mm^3 et 1603.3Mm^3 respectivement. Par contre pour l'année la plus sèche, une diminution très remarquable pour les débits entrants dans l'air pour atteindre le volume 309.31Mm^3 et en 2050 ce débit sera de l'ordre de 925.64Mm^3 .

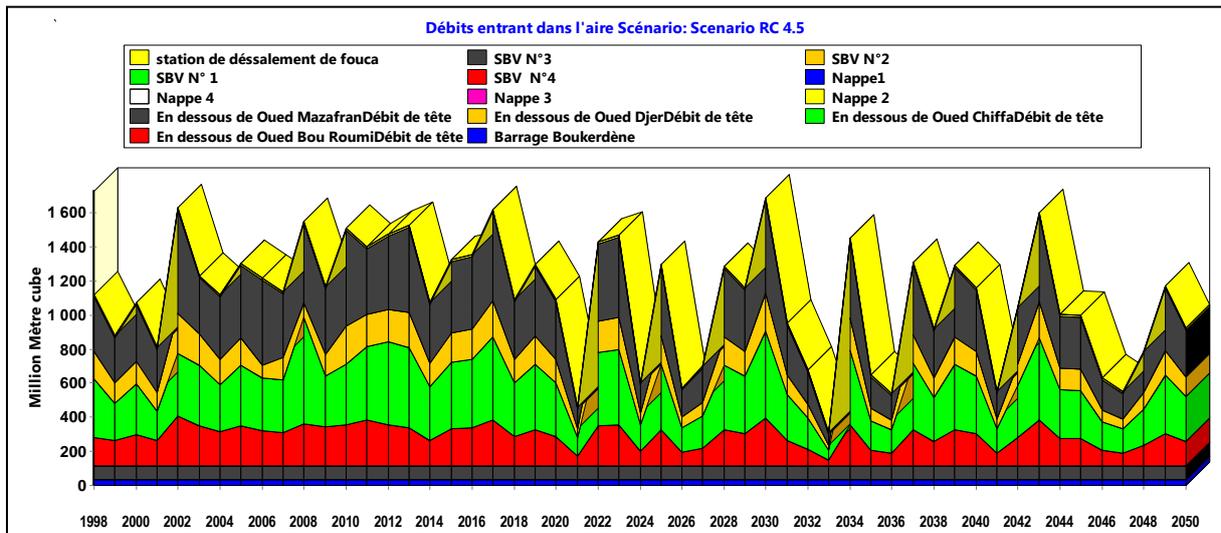


Figure VI.22 l'évolution de la disponibilité de la ressource en eau jusqu'à 2050 (scénario RC4.5)

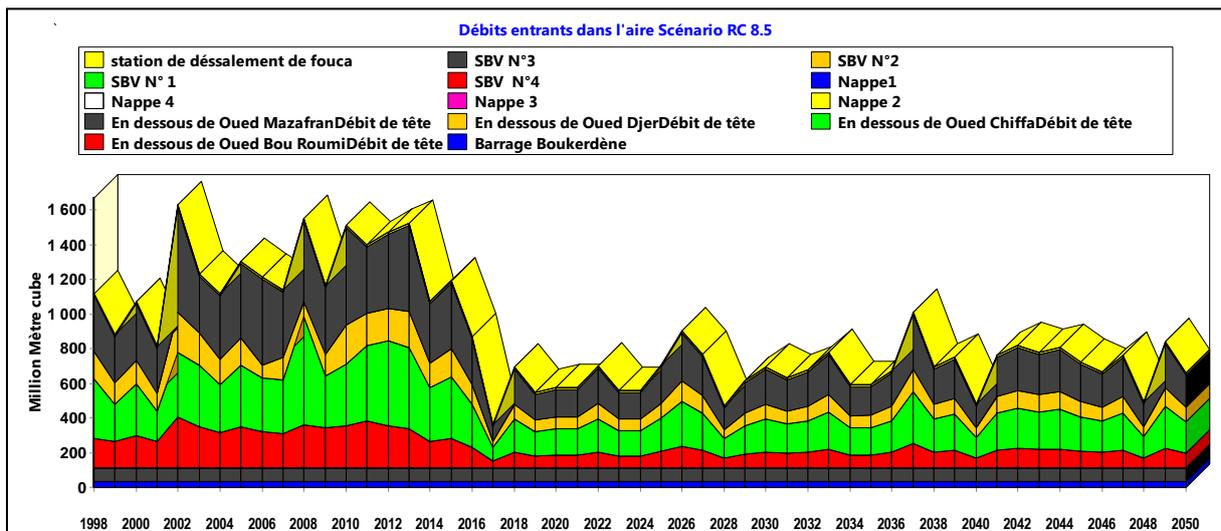


Figure VI.23 l'évolution de la disponibilité de la ressource en eau jusqu'à 2050 (scénario RC8.5)

Cette figure montre l'évolution de la ressource en eau jusqu'à 2050, on constat que l'évolution corrobore avec la variation du climat pour le scénario RCP8.5. Pour l'année la plus pluvieuse (2037), les débits entrants dans le système seront de l'ordre de 1009.94Mm³. Par contre, pour l'année 2028 (l'année la plus sèche) pour ce scénario, une diminution des débits entrants dans l'air atteint le volume 466.77 Mm³. A l'horizon 2050 ce débit sera de l'ordre de 661.53Mm³.

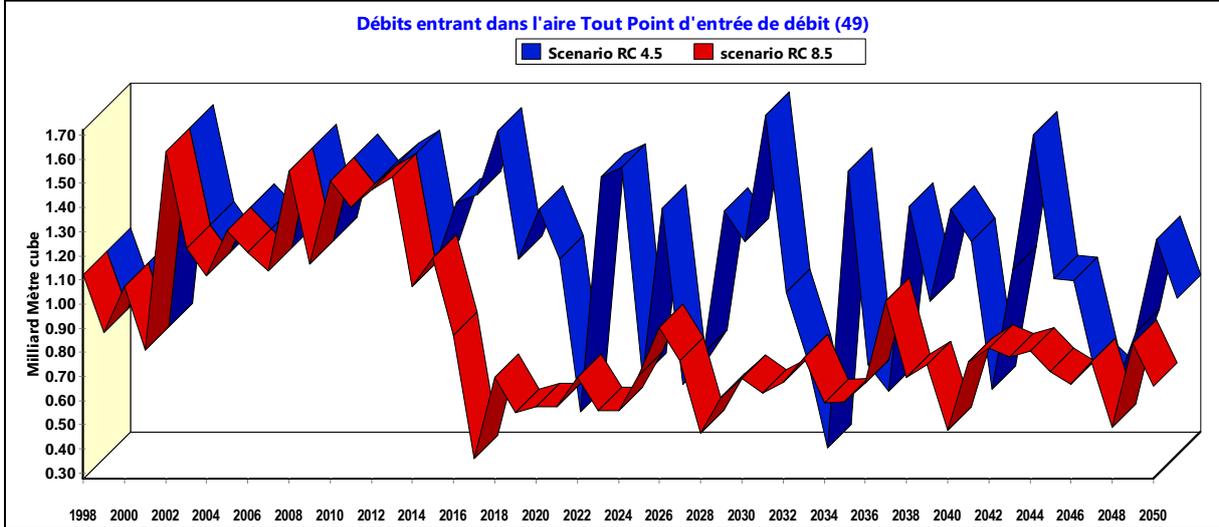


Figure VI.24 l'évolution de la disponibilité de la ressource en eau jusqu'à 2050 (pour les deux scénarios)

VI-2-7 Evolution de l'eau distribuée pour tous les sites de demande:

Le graphe ci – dessous (Figure VI.25.) montre la quantité d'eau et l'évolution des eaux distribuées pour chaque site de demandes pour le scénario RCP4.5. L'eau distribuée connaîtra une augmentation linéaire jusqu'à l'année 2032. Une diminution sera remarquée au niveau des emplacements urbains et au niveau du périmètre d'irrigation à partir de l'année 2033. Pour les autres sites, cette variation n'est pas très remarquable.

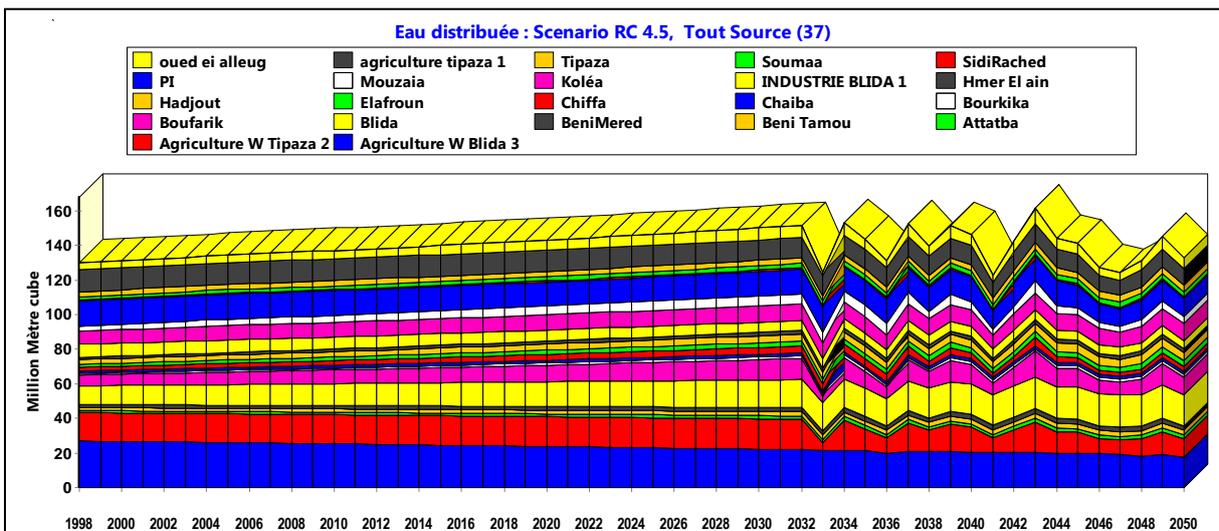


Figure VI.25. Évolution de l'eau distribuée pour chaque site de demande scénario RC4.5

Le graphe ci – dessous (Figure VI.26.) montre la quantité d’eau et l’évolution des eaux distribuées pour chaque site de demandes pour le scénario du changement climatique RCP8.5. L'eau distribuée connaîtra une augmentation linéaire jusqu'à l'année 2017 . Une diminution sera remarquée au niveau des emplacements urbains et au niveau du périmètre d'irrigation à partir de l'année 2018 jusqu'à 2050. Un minimum sera enregistré en 2028 pour atteindre un maximum en 2037.

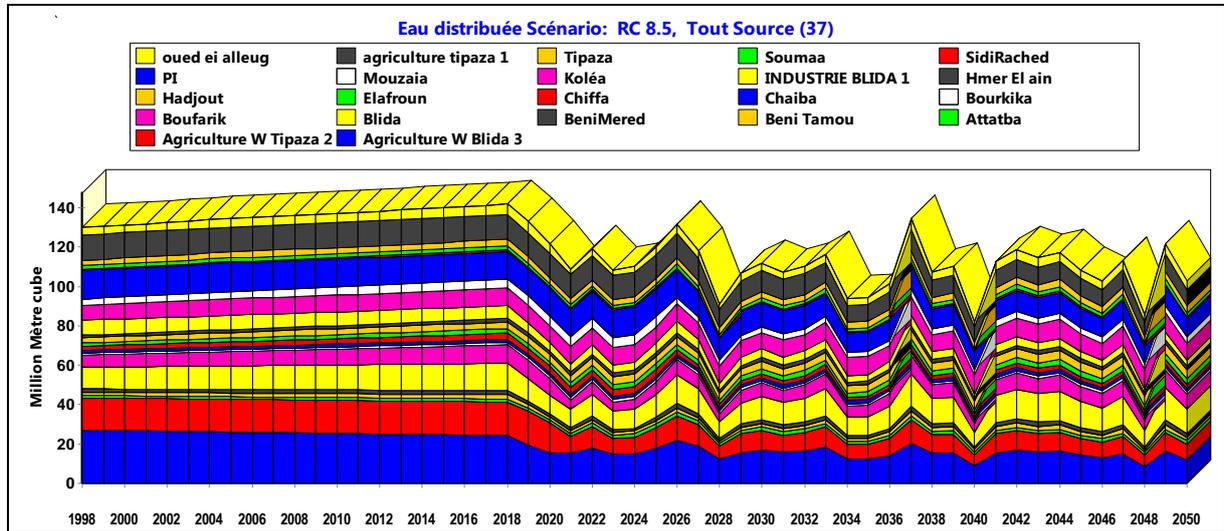


Figure VI.26 Évolution de l'eau distribuée pour chaque site de demande scénario RC8.5

La comparaison des deux scénarios montre que l’eau distribuée pour le scénario RCP4.5 va augmenter d'une manière linéaire jusqu'à 2032 pour atteindre un volume de 151.7Mm³. Une diminution sera remarquée en 2032 pour avoir un volume de 124.26 Mm³ et un volume max en 2043 de l'ordre de 142.68 Mm³. Par contre, pour le scénario pessimiste RCP8.5, une augmentation linéaire jusqu'à 2017 et une variation très remarquable sera prononcée dès 2018 pour avoir des max et des min qui sont en relation avec le climat de ce dernier scénario jusqu'à 2050. Ceci a pour cause l’augmentation des demandes (augmentation de population, surfaces irrigables, ...) alors que les ressources vont subir aussi une modification due à ce changement de climat.

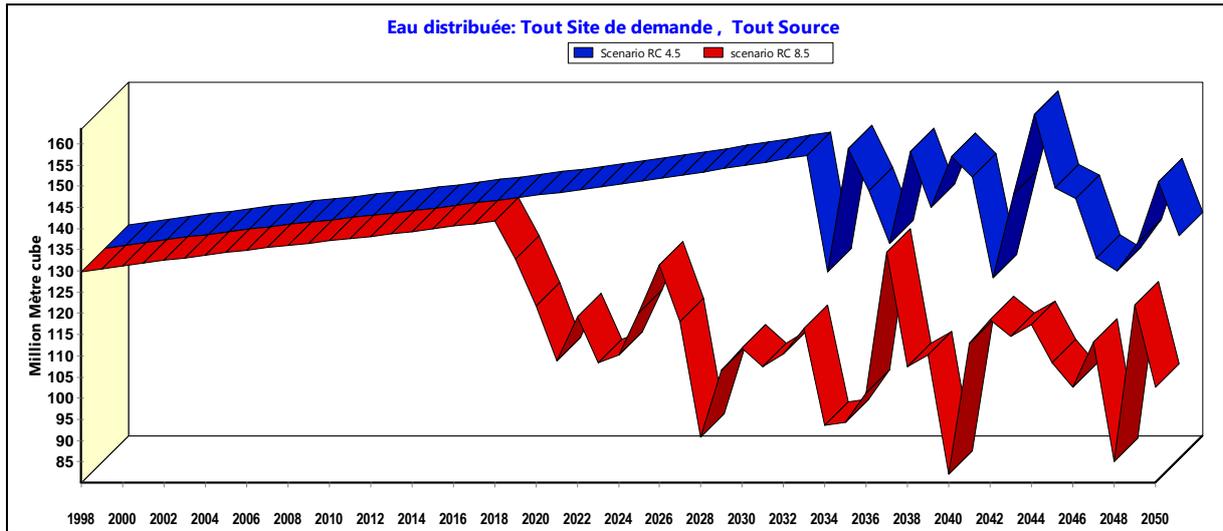


Figure VI.27 Eau distribuée pour les deux scénarios du changements climatiques (RC4.5 et RC8.5)

VI-2-8 La demande non satisfaite:

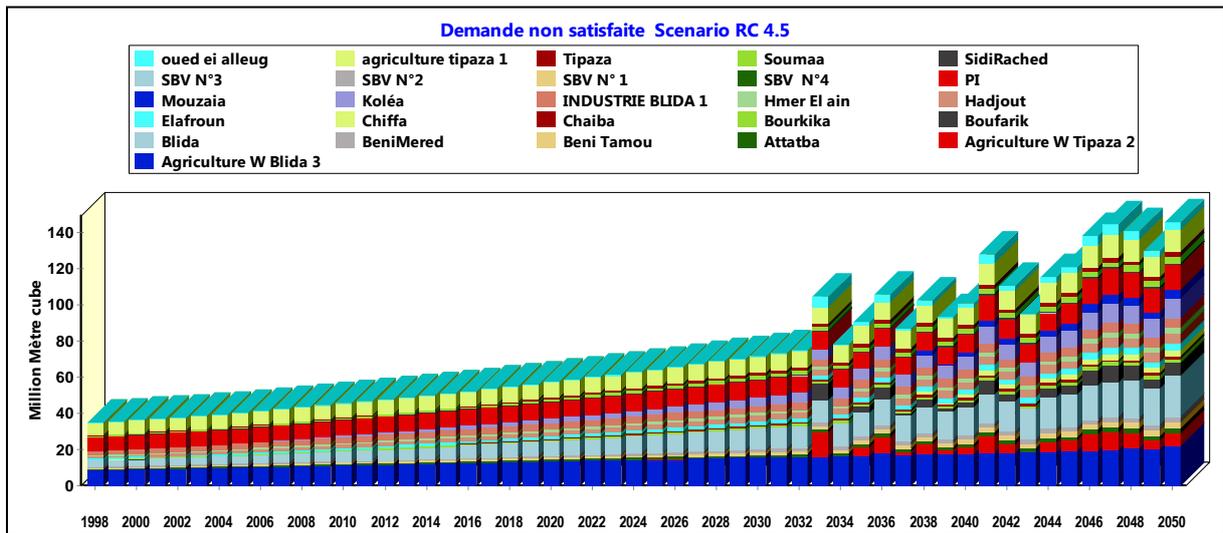


figure VI.28 Evolution de la demande non stisfaite pour tous les sites de demande Scénario RC4.5

Les résultats de la demande non satisfaite pour le scénario RC4.5 pour chaque site de demande sont représentés dans la figure VI.28 et tableau N°1 l'annexe N°5 . Cette figure montre que pour le scénario RC4.5 les sites de demande qui ont une forte besoin non satisfaite seront : la demande en eau pour l'irrigation pour la Wilaya de Blida qui sera de l'ordre de 13.38Mm^3 pour l'année 2020 et atteindra la valeur de 21.96Mm^3 en 2050. Pour le périmètre d'irrigation (PI) la demande non satisfaite sera de l'ordre de 9.14Mm^3 en 2020 et atteindra la valeur de 13.67Mm^3 en 2050. Pour la ville Blida la demande non satisfaite sera de l'ordre de 8Mm^3 pour l'année 2020 et atteindra les 15.47Mm^3 en 2050.

Les sites de demande Beni Merad et Beni Tamou la demande non satisfaire est de l'ordre de 1.2Mm^3 pour chacune en 2020 et atteindra 3.3Mm^3 en 2050 pour chacune , tandis que les

autres sites de demande les besoins non satisfaites seront faibles et nulles jusqu'à l'année 2030 comme indique le tableau N°1 de l'annexe N°5

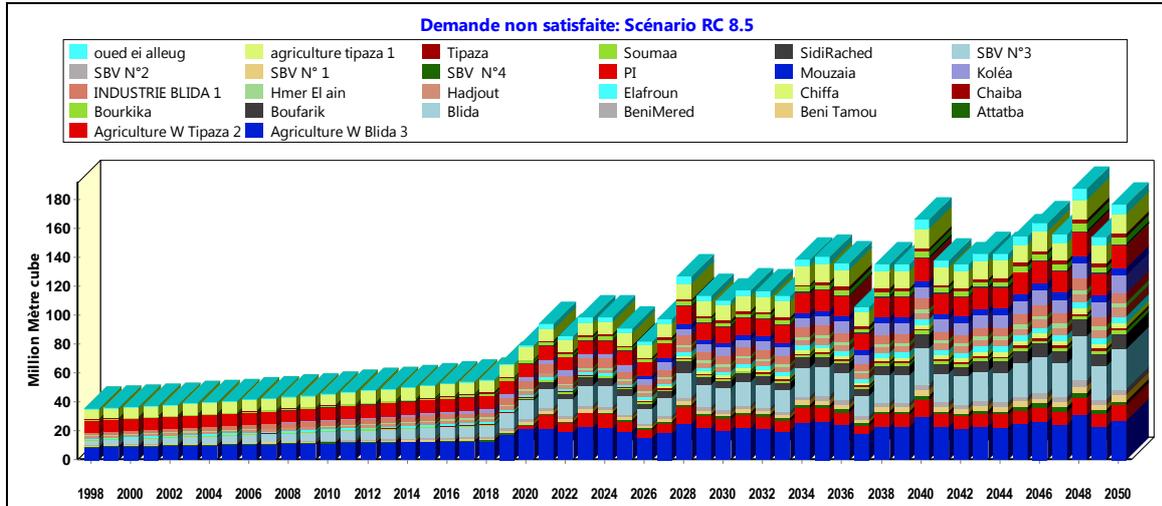


Figure VI.29 Evolution de la demande non stisfaite pour tous les sites de demande Scénario RC8.5

Les résultats de la demande non satisfaite pour le scénario RC8.5 pour chaque site de demande sont représentés dans la figure VI.29 et tableau N°2 de l'annexe N°5 . Cette figure montre que pour le scénario RC8.5 les sites de demande qui ont une forte besoin non satisfaite seront : la demande en eau pour l'irrigation pour la Wilaya de Blida qui sera de l'ordre de 21.592Mm³ pour l'année 2020 et atteindra la valeur de 27.35Mm³ en 2050. Pour le périmètre d'irrigation (PI) la demande non satisfaite sera de l'ordre de 9.1499.14 Mm³ en 2020 et atteindra la valeur de 15.4 Mm³ en 2050. Pour la ville Blida la demande non satisfaite sera de l'ordre de 8 Mm³ pour l'année 2020 et atteindra les 22.37Mm³ en 2050. Les sites de demande Beni Merad et Beni Tamou la demande non satisfaire est de l'ordre de 1.9 Mm³ pour chacune en 2020 et atteindra 4.2Mm³ en 2050 pour chacune.

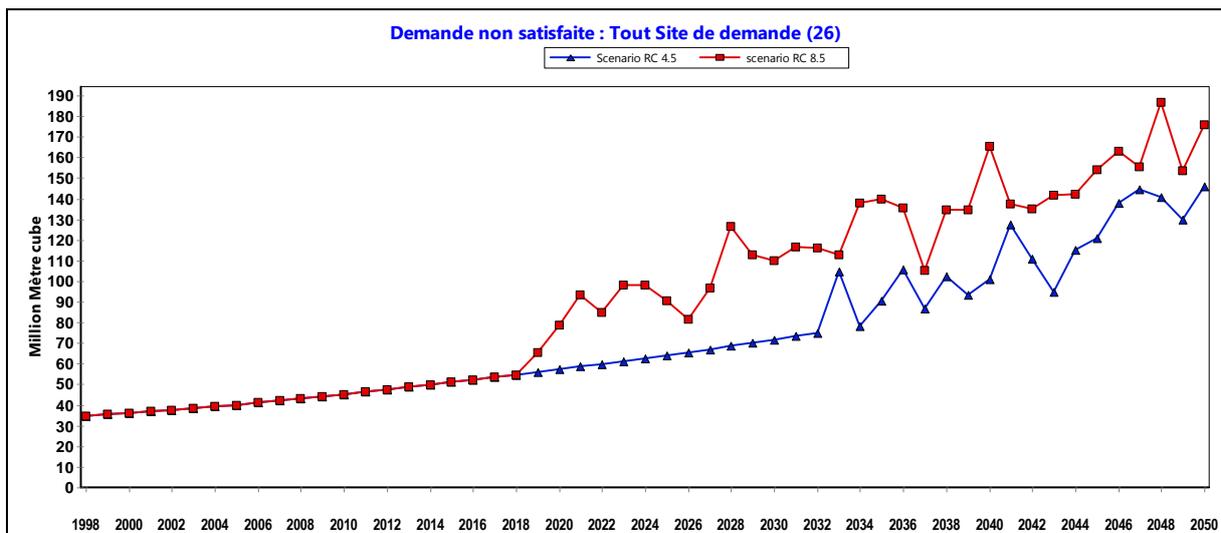


Figure VI.30 Tendence de la demande non satisfaire pour les deux scénarios

VI-2-9 Bilan de gestion des ressources en eaux:

Le tableau suivant représente l'évolution des ressources et la demande en eau pour le scénario RC4.5

Tableau VI.3 Bilan de gestion des ressources en eaux (scenario RC4.5):

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Ressources en eau superficielles (barrage) (Mm3)	227.13	230.00	227.59	169.89	67.25	44.78
Ressources en eau souterraines (Mm3)	270.09	251.51	255.77	224.96	176.27	127.70
Station de dessalement de Fouca (Mm3)	-	-	10.94	10.94	10.94	10.94
Ressource totale (Mm3)	497.22	481.51	494.30	405.79	254.47	183.42
Demande en eau domestique et publique(Mm3)	63.20	76.35	92.37	111.90	135.70	164.73
Demande en eau d'irrigation (Mm3)	94.08	95.98	97.91	99.89	101.91	103.96
Demande en pour industrie (Mm3)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Demande totale (Mm3)	167.28	182.32	200.28	221.79	247.61	278.69
Balance (Mm3)	329.94	299.18	294.02	184.00	6.86	-95.27

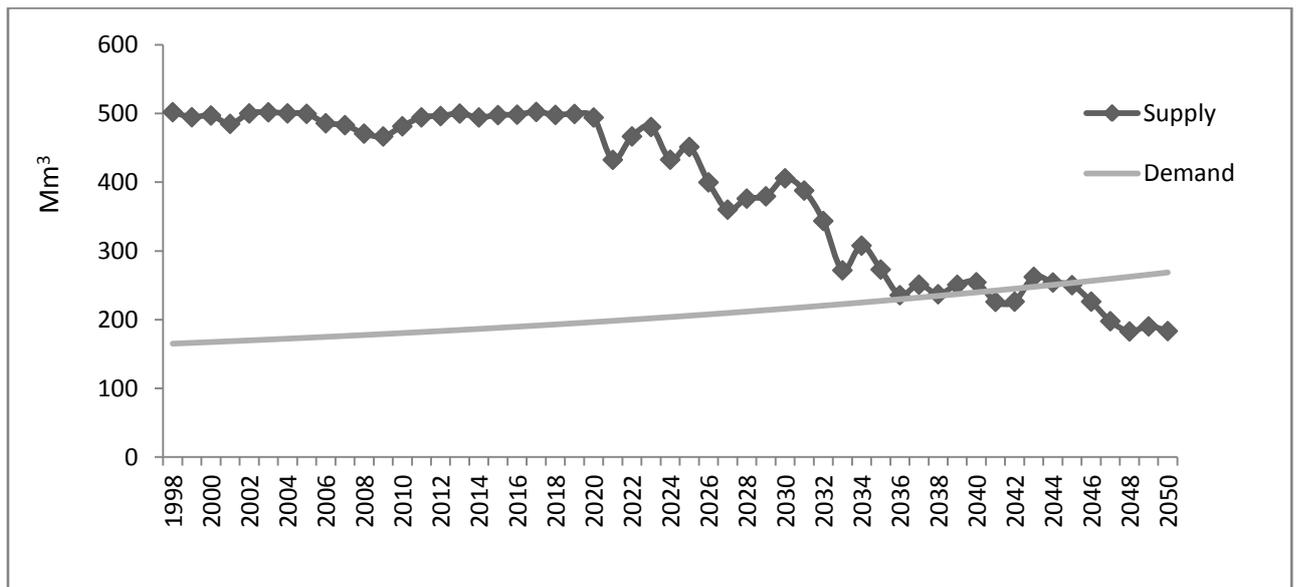


Figure VI.31 Bilan de gestion des ressources en eau pour le scénario RC4.5

Tableau VI.4 Bilan de gestion des ressources en eaux (scénario RC 8.5) :

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Ressources en eau superficielles (barrage) (Mm3)	270.00	249.13	205.89	118.48	97	97
Ressources en eau souterraines (Mm3)	227.08	229.72	72.094	30.006	30.44	30.01
Station de dessalement de Fouca (Mm3)	-	-	10.94	10.94	10.94	10.94
Ressource totale (Mm3)	497.082	478.85	288.93	159.43	138.38	137.95
Demande en eau domestique et publique(Mm3)	63.20	76.35	92.37	111.90	135.70	164.73
Demande en eau d'irrigation (Mm3)	94.08	95.98	97.91	99.89	101.91	103.96
Demande en eau pour industrie (Mm3)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Demande totale (Mm3)	167.28	182.32	200.28	221.79	247.61	278.69
Balance (Mm3)	329.80	296.53	88.65	-62.36	-109.23	-140.74

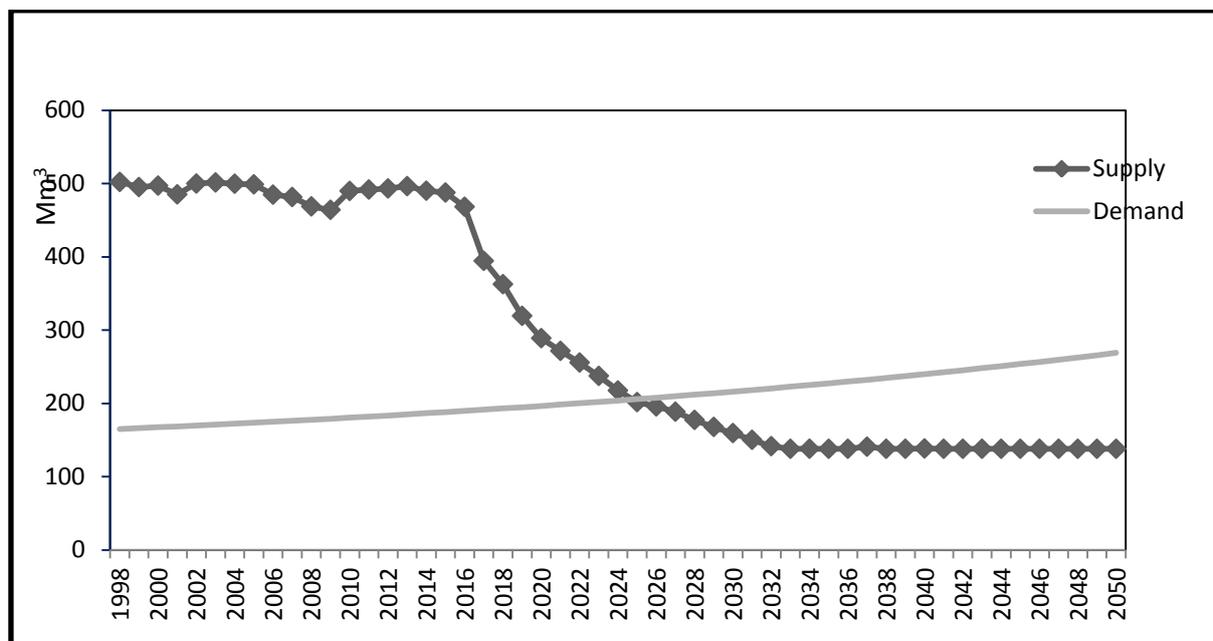


Figure VI.32 Bilan de gestion des ressources en eau pour le scénario RC 8.5

La figure VI.31 présente l'évolution de l'offre et la demande jusqu'à l'horizon 2050. On constate qu'il y'aura un recouvrement de la demande jusqu'à 2040, le déficit apparaîtra après cette date qui sera de l'ordre de 3.44Mm³ en 2045 et atteindra les 95.3 Mm³ en 2050 pour le scénario RC4.5. La situation sera plus critique pour le scénario pessimiste (RC8.5) où la rupture entre l'offre et la demande (Figure VI.32) sera enregistrée dès 2025. Le déficit sera de l'ordre de 56.65Mm³ en 2030 et atteindra les 130.95 Mm³ en 2050.

Pour combler ce déficit, on propose la construction d'un autre barrage au niveau de la région d'étude pour les eaux superficielles avec un volume de 60 Mm³. Ce dernier répondra à la demande du secteur agricole, plus une projection d'une nouvelle station de dessalement d'un

volume de 30 Mm³. Aussi, l'utilisation des eaux usées épurées (à la sortie des quatre stations de traitements des eaux) en irrigation. L'amélioration des techniques d'irrigation, par l'introduction de nouvelles approches de gestion de l'eau destinée à ce secteur, sera indispensable pour améliorer l'efficacité de l'irrigation et l'augmentation de la productivité agricole. Ce secteur est considéré comme un grand consommateur d'eau. Aussi, l'alimentation en eau potable doit répondre aux standards internationaux pour réduire les fuites qui sont actuellement de l'ordre de 30%. Par ces mesures, le déficit projeté peut être diminué à un niveau acceptable pour assurer la demande en eau convenablement, par les différents utilisateurs aux horizons futurs.

VI-3 Confrontation besoin- ressources :

Dans cette partie on va faire une analyse sur la vision globale de l'évolution des ressources et des besoins pour l'horizon adopté de la simulation pour chacun des sites de demande.

V-3-1 Analyse de l'équilibre entre l'offre et la demande pour chacun des sites de demande :

Les confrontations sont établies en comparant les ressources en eau existantes avec les besoins en eau de façon à ce que les mesures à prendre pour satisfaire les demandes en eau puissent être évaluées. Les calculs de la confrontation présentent comme intérêt, l'évaluation de la situation de gestion des ressources en eau et de suivre le développement pour optimiser les choix de systèmes d'économie hydraulique et de déterminer la politique de l'eau (Remini 2010). Nous avons dressé les confrontations globales pour chacun des sites de demande intégrée pour l'horizon 2050.

Pour la description de la situation actuelle de chaque site demande, on a pris en considération:

- Des offres en eau évaluées et mobilisées pour l'année de référence (nappe, barrages);
- Des demandes en eau évaluées sur la base d'hypothèse d'une satisfaction normale (AEP, irrigation et industrie) ;
- La climatologie (pluviométrie et température) .

Tableau VI.5 La population calculée par le modèle WEAP pour l'horizon 2050

Wilaya	Commune	Population 2050	Wilaya	Commune	Population 2050	
Blida	Blida	366 291	Tipaza	Bourkika	111 557	
	Oued el Alleug	110 268		Hadjout		
	Elafroun	96 937		Ameur El ain		67 921
	Chiffa	78 437		Attatba		62 161
	Soumaa	86 912		Chaiba		46 926
	Mouzaia	117 858		Kolea		124 973
	Boufarik	157 277		Sidi-Rached		25 412
	Beni Meurad	80 893		Tipaza		57 948
	Bni-Tamou	82 301		Bourkika		50 811

Les communes de la Wilaya de Blida sont à 100% alimentées par les eaux souterraines (nappe), par contre, les communes de la wilaya de Tipaza l'alimentation est renforcées par la station de dessalement de Fouka et le barrage de Boukerdène.

Les graphiques des figures VI.33 représentent les évolutions des demandes en eau pour chaque site de demande.

VI-3-1-1- Wilaya de Blida :

La wilaya de Blida englobe pour notre zone d'étude 9 communes citées dans le tableau N°5, avec le nombre d'habitant estimé pour l'horizon 2050.

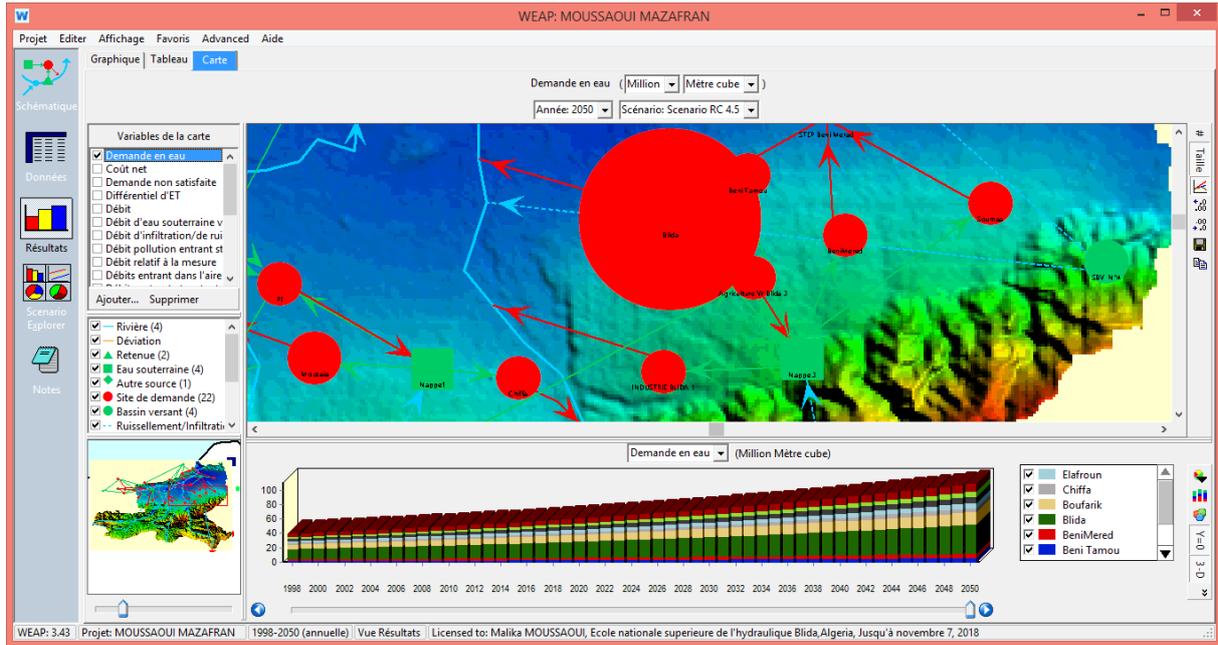


Figure VI.33. Evolution de la demande en eau pour les 9 communes de la wilaya de Blida scénario RC4.5

La figure VI.33 présente l'évolution de la demande en eau pour les sites qui font partie de la wilaya de Blida, elle atteindra les 108 Mm³ en 2050. La commune de Blida la demande en eau atteindra les 40.24 Mm³ en 2050 soit 37.24%, pour les autres communes de la dite wilaya la demande sera varier entre 5.86 Mm³ à 10.14 Mm³ en 2050 soit (5.5% à 9.4%) tableau N°5 de l'annexe N°5.

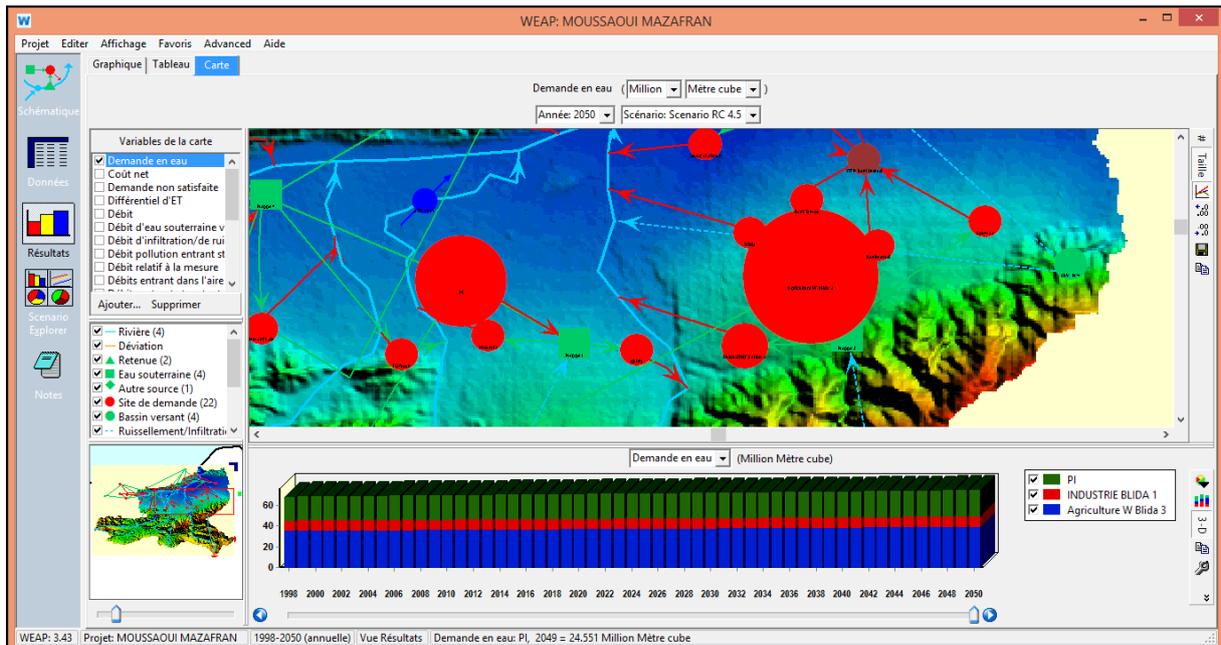


Figure VI.34. Evolution de la demande en eau pour le secteur agricole et industrie de la wilaya de Blida scénario RC4.5

La figure VI.34 présente l'évolution de la demande en eau pour les sites (agriculture de Blida et périmètre de l'irrigation PI et industrie de la wilaya de Blida, elle atteindra les 74.1 Mm³ en 2050. Pour le site Agriculture de Blida, la demande en eau atteindra les 39.5 Mm³ en 2050 soit 53.3%, pour le périmètre d'irrigation la demande atteindra les 24.6Mm³ pour l'horizon 2050 soit 33.2% et la demande de l'industrie sera de l'ordre de 10Mm³ soit 13.5% tableau N°2 de annexe N°5.

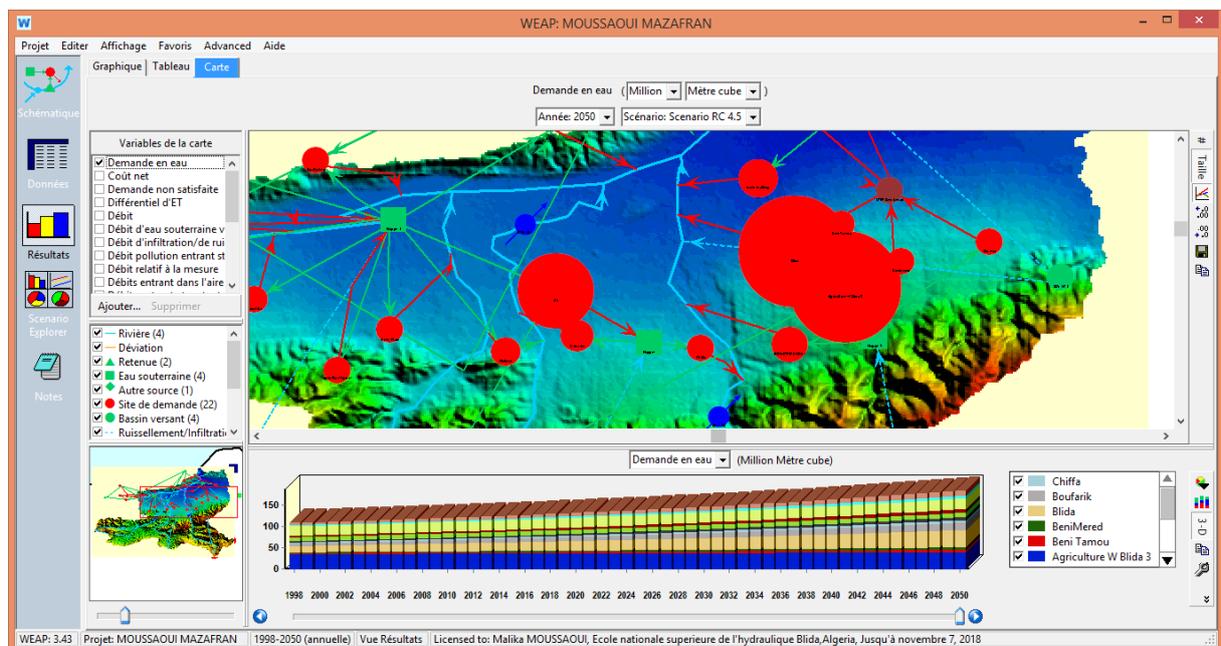


Figure VI.35. Evolution de la demande en eau totale pour tous les sites de la wilaya de Blida scénario RC4.5

La figure VI.35 présente l'évolution de la demande en eau totale pour tous les sites de la wilaya de Blida, elle atteindra les 182.15 Mm³ en 2050, dont 108.05 Mm³ sera destinée pour l'AEP soit 59.32%, 64.1Mm³ pour le secteur agricole soit 35.19% et 10Mm³ pour l'industrie de Blida soit 5.49%.

Les ressources en eau de ces sites sont constituées des ressources souterraines pour l'AEP, et le secteur agricole est assuré par les eaux souterraines et les eaux de surface (barrage Bouroumi).

Pour faire face au déficit qui sera enregistré au future il est souhaitable de procéder à la réutilisation des eaux usées de la station d'épuration de Beni-Meured pour le secteur agricole afin de pouvoir réserver les eaux souterraines pour l'utilisation des habitants.

VI-3-1-1 -1Les débits des sites de demande pour Blida à l'horizon 2050:

A- Consommation domestique:

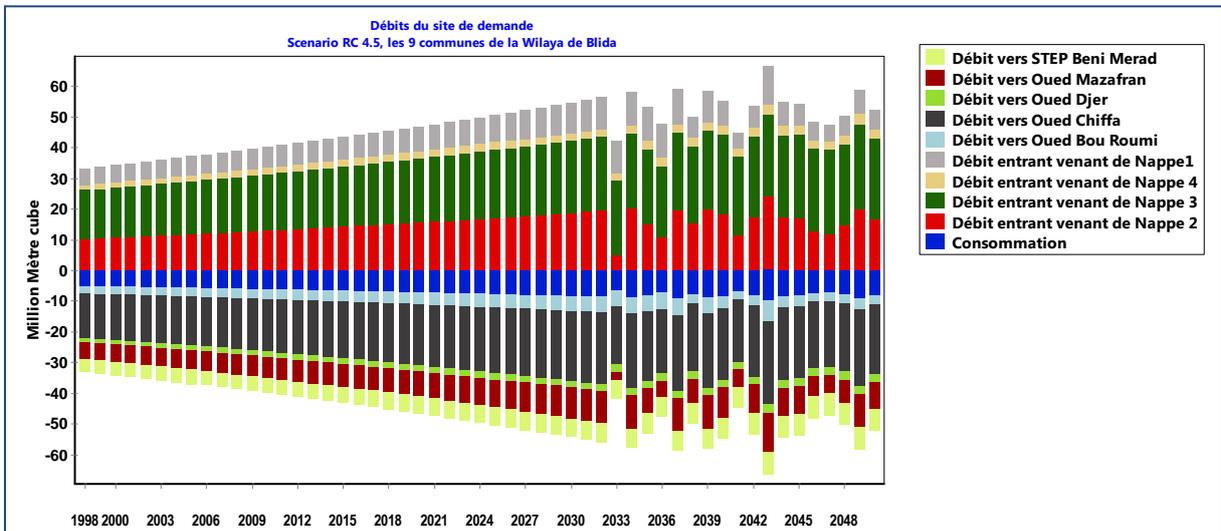


Figure VI.36 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour les 9 communes de la wilaya de Blida scénario RC4.5

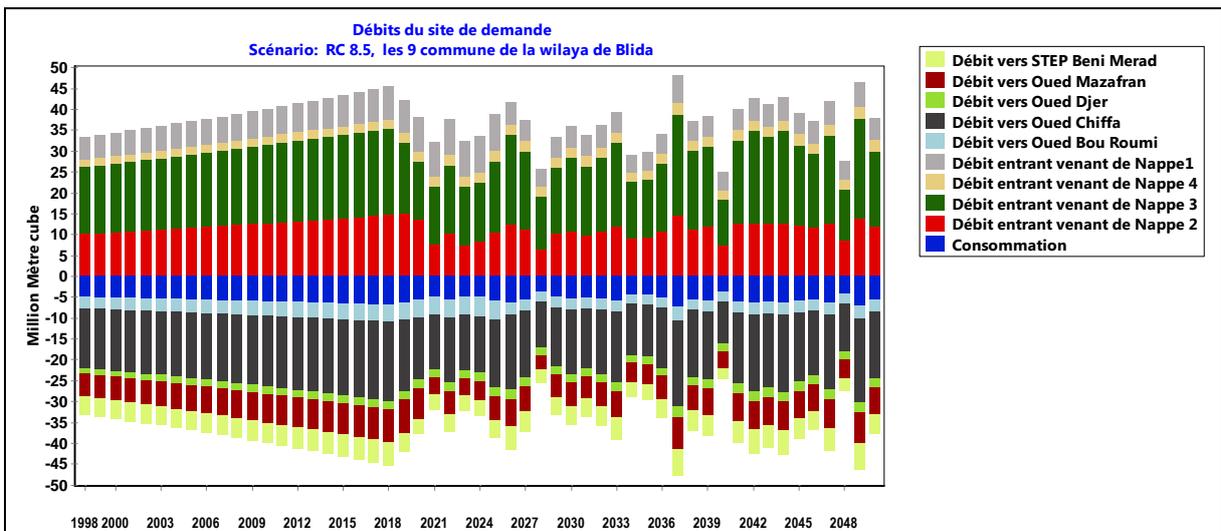


Figure VI.37. Tendence des débits des ressources en eau affectés pour les 9 communes de la wilaya de Blida scénario RC8.5

Les graphes des Figure VI.37. montrent les débits entrants pour chaque site de demandes venant de toutes les sources ainsi que les consommations inhérentes aux différents scénarios. Les débits consommés par les besoins domestiques, élevages, touristiques, d'établissements Scolaires, d'établissements hospitaliers...qui représentent 15% de la demande totale pour chaque site varient en fonction des débits entrant. Ces derniers sont relation directe avec les projections des pluies et des températures à l'horizon 2050.

Pour les deux scénarios optimistes RC4.5, et pessimiste RC8.5, les débits entrants sont consommés en totalité c.à.d. que les autres débits représentés dans la partie inférieure des graphiques à part la consommation représentent les débits de retour soit vers la STEP ou bien vers les rejets dans les oueds. Donc, à partir de ces graphiques obtenus du modèle de gestion intégrée WEAP on peut estimer tous les volumes d'eau qui peuvent être réserver pour le secteur agricole et industrie par les biais des STEP. Ces débits consommés englobent les débits entrant venant des nappes. Le débit vers la STEP Beni Merad peut être réutilisé en agriculture. Par contre, pour assurer une utilisation efficace de toutes les ressources et protéger l'environnement, il serait judicieux de réaliser des STEP pouvant récupérer les débits rejetés vers les oueds (Mazfran, Djer, Chiffa et Bouroumi).

B- Consommation agricole et industrielle:

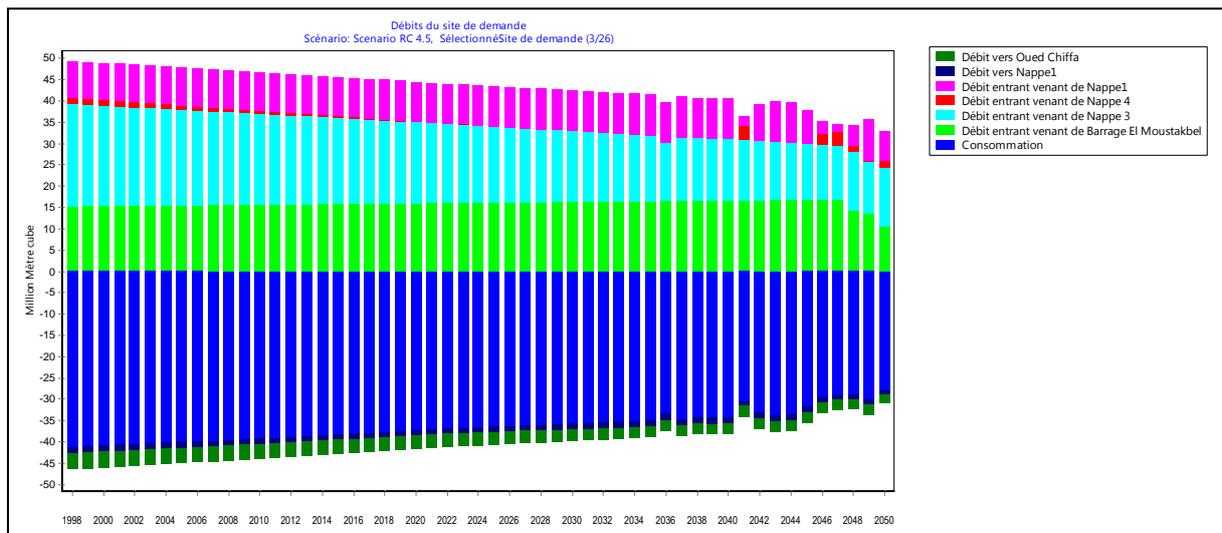


Figure VI.38. tendance des débits des ressources en eau affectés pour l'agriculture et industrie de la wilaya de Blida scénario RC4.5

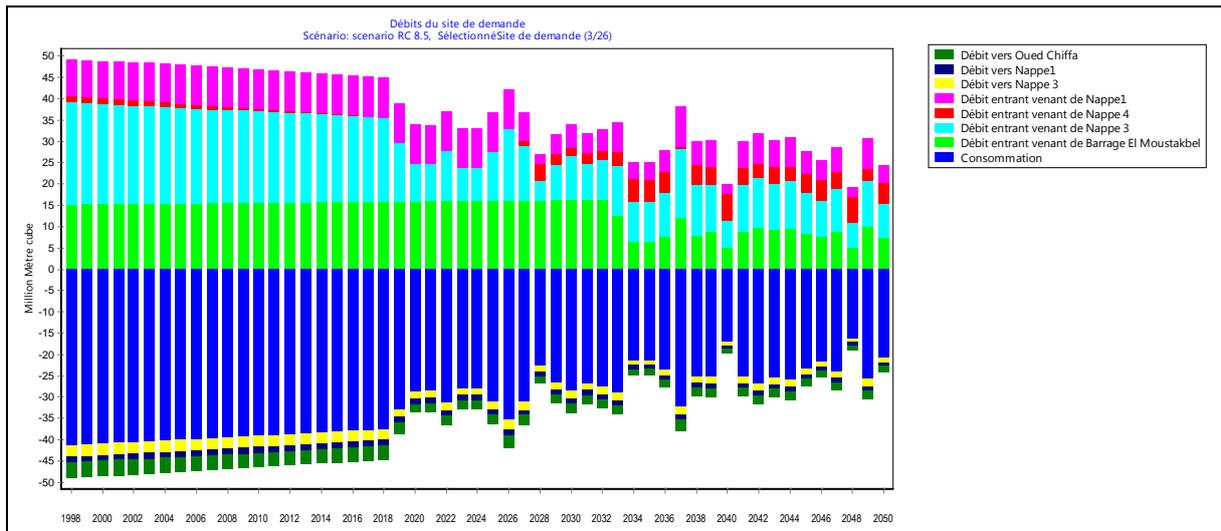


Figure VI.39 tendance des débits des ressources en eau affectés pour l'agriculture et industrie de la wilaya de Blida scénario RC8.5

Les graphes des Figure VI.39 montrent les débits entrants pour les sites agricoles et industriels, venant de toutes les sources ainsi que les consommations pour chaque scénario. Les débits consommés par le secteur agricole représentent 90% des eaux consommés de la partie destiné à l'agriculture. Les ressources en eau disponible sont en relation directe avec les projections des pluies et températures à l'horizon 2050.

Les volumes consommés par le secteur industriel sont estimé à 50% de la part réservée à l'industrie donc, les 50% restant serait rejeté et qui peut être récupérer.

Pour les deux scénarios, les débits entrants sont consommés en totalité c.à.d. que les autres débits représentés dans la partie inférieure des graphiques à part la consommation représentent les débits de retour vers oued Chiffa venant du site industriel de Blida et les débits venants des sites agricoles à travers les liaisons de transmission vers les deux nappes mentionnées dans la figure représentent les débits de retour qui servent à la réalimentation de la nappe souterraine. Donc, à partir de ces graphiques obtenus du modèle de gestion intégrée WEAP on peut estimer les recharges des nappes. Ces débits consommés englobent les débits entrants venants des nappes et le débit entrant venant du barrage Bouroumi (Elmoustakbel). Le débit rejeté vers oued Chiffa peut être réutiliser en agriculture si il passe par une station d'épuration. Les 10% qui reste du volume alloué à l'irrigation sera en partie évaporée depuis les couches superficielles et une partie alimentera la nappe par infiltration profonde.

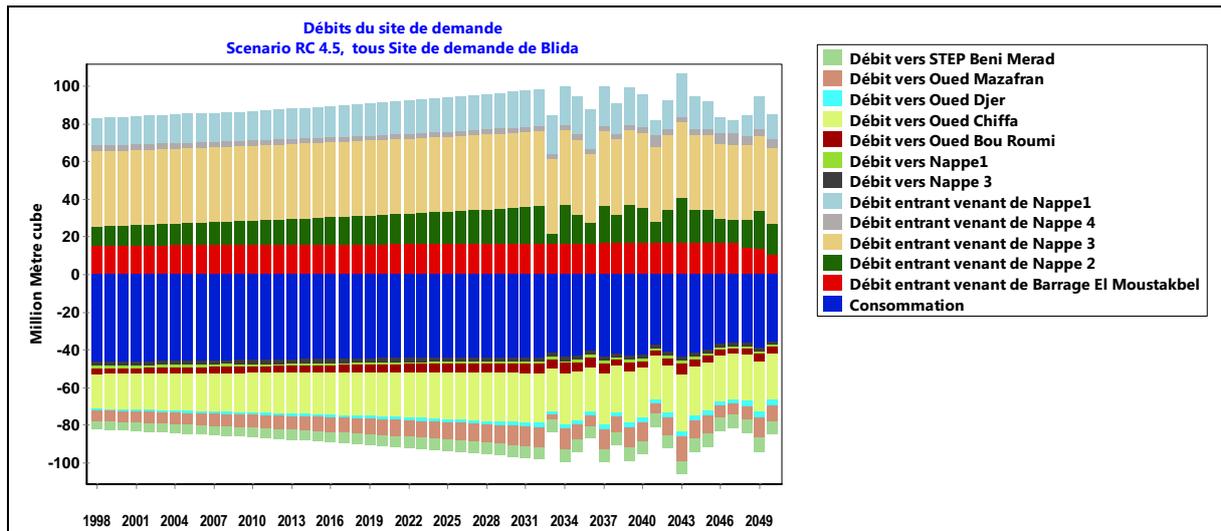


Figure VI.40 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Blida scénario RC4.5

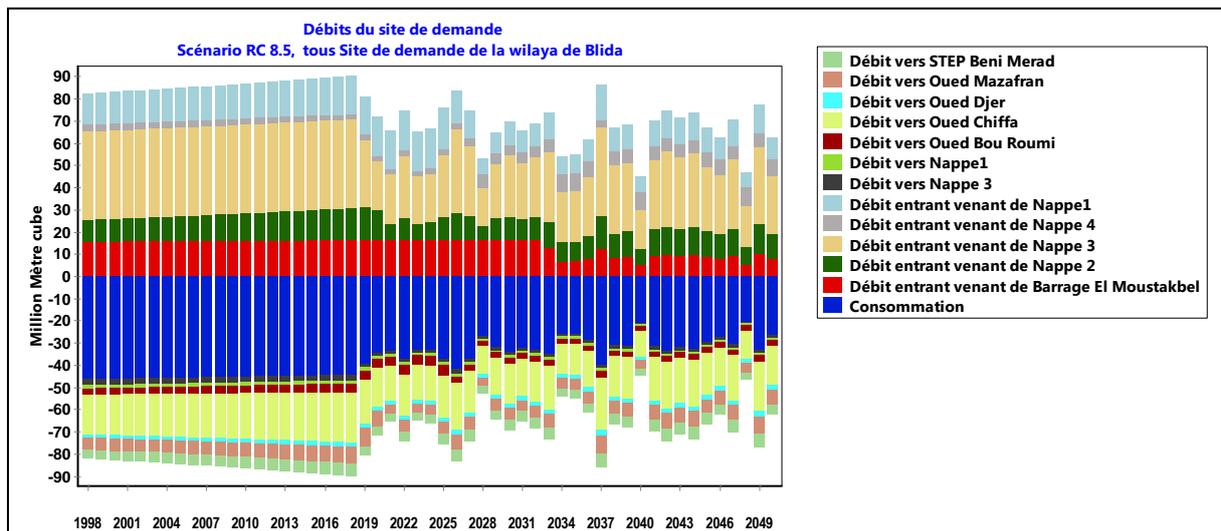


Figure VI.41. Tendence des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Blida scénario RC8.5

Les graphes des Figure VI.41 montrent les débits entrants pour les sites de la wilaya de Blida, venant de toutes les sources ainsi que les consommations pour chaque scénarios.

Les ressources en eau disponible sont en relation directe avec les projections des pluies et températures à l'horizon 2050. Pour les deux scénarios, les débits entrants sont consommés en totalité.

VI-3-1-2- Wilaya de Tipaza :

La wilaya de Tipaza englobe pour notre zone d'étude 8 communes citées dans le tableau N°06 Annexe 06 avec le nombre d'habitant estimé pour l'horizon 2050.

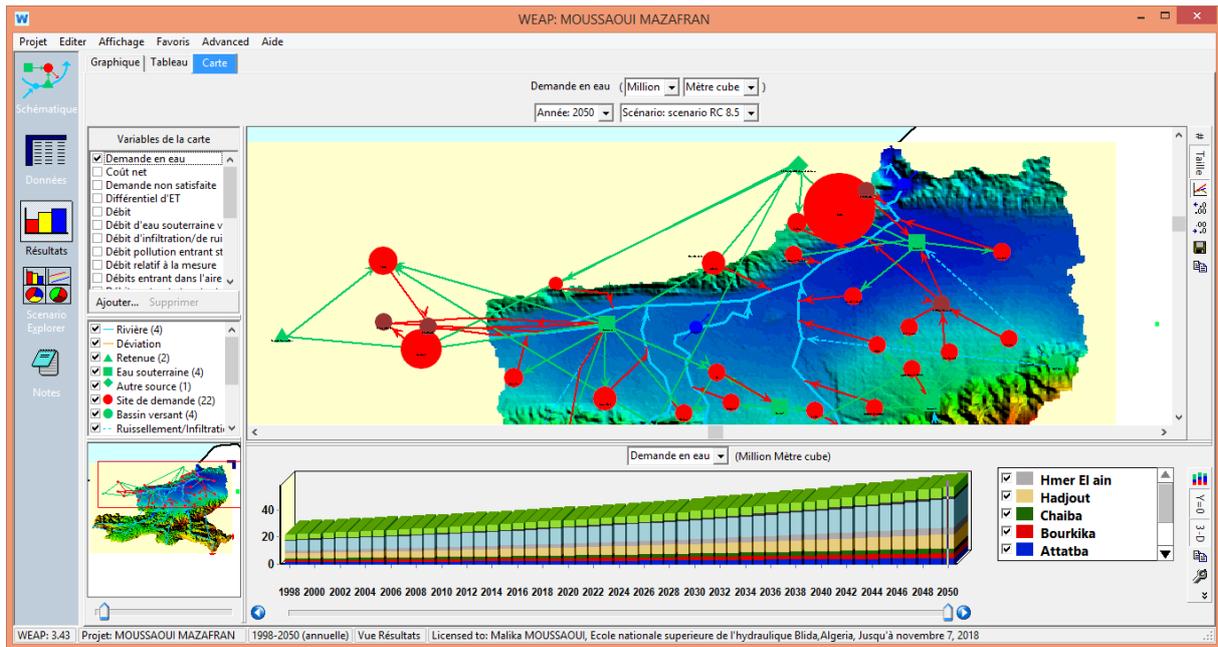


Figure VI.42: Evolution de la demande en eau pour les 8 communes de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5

La figure VI.42 présente l'évolution de la demande en eau pour les sites qui font partie de la wilaya de Tipasa, elle atteindra les 56.67 Mm³ en 2050. La commune de Koléa la demande en eau atteindra les 20.71 Mm³ en 2050 soit 36.54% , pour les autres communes de la dite wilaya la demande sera varier entre 1.87 Mm³ à 10.43 Mm³ en 2050 soit (3.3% à 18.4%) tableau N°6 de annexe N°6.

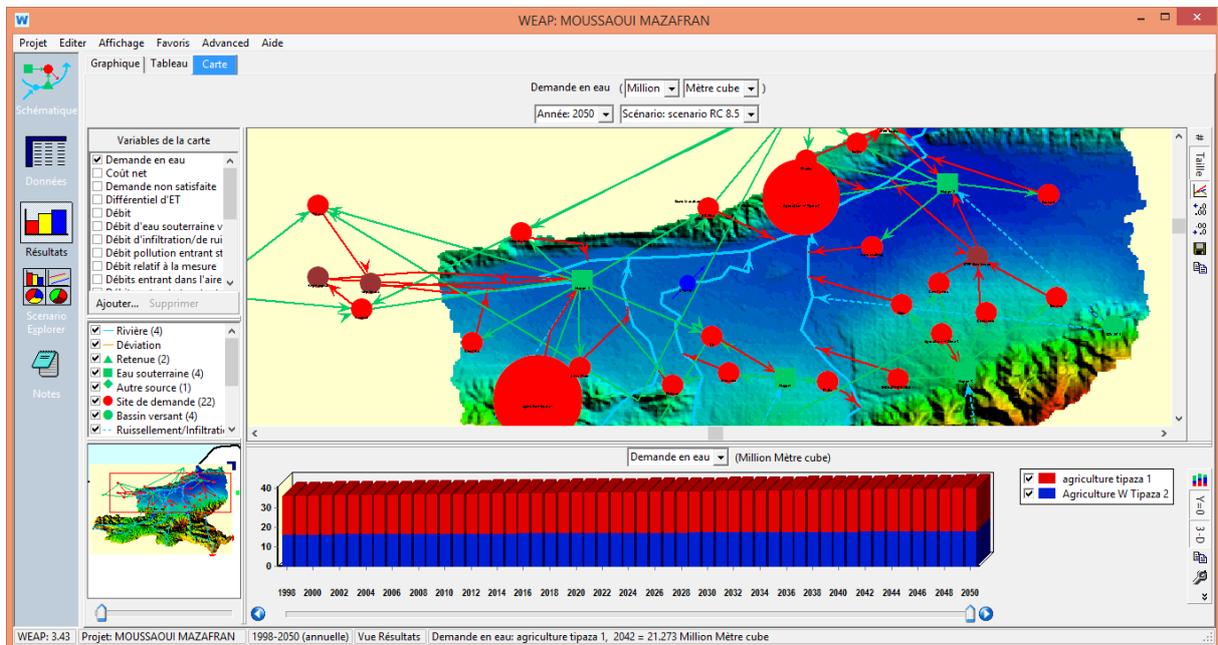


Figure VI.43. Evolution de la demande en eau pour le secteur agricole de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5

La figure VI.43 présente l'évolution de la demande en eau pour les sites agricoles de la wilaya de Tipasa elle atteindra les 39.86 Mm³ en 2050.

D'après les deux graphiques, la demande totale des sites de la Wilaya de Tipasa sera de l'ordre 96.53 Mm³ en 2050, dont 58.71% pour l'AEP et 41.29% pour l'irrigation.

Les ressources en eau de ces sites sont constituées des ressources en eau souterraines et les eaux de surface et un renforcement par la station de dessalement pour l'AEP, et le secteur agricole est assuré par les eaux souterraines et les eaux de surface (barrage Boukerdène) .

Pour faire face au déficit qui sera enregistré au future figure N° , il est souhaitable de procéder à la réutilisation des eaux usées des stations d'épuration de Koléa, Hadjout et Tipasa pour le secteur agricole afin de pouvoir réserver les eaux souterraines pour l'utilisation domestique.

Les débits des sites de demande pour Blida à l'horizon 2050:

A- Consommation domestique:

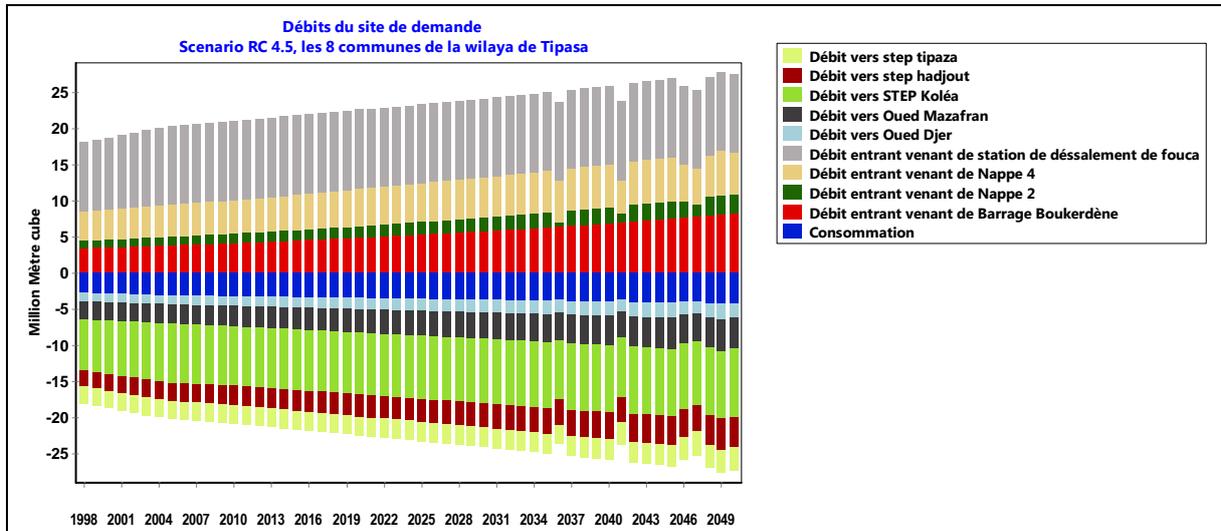


Figure VI.44. Tendence des débits des ressources en eau affectés pour les 8 communes de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5

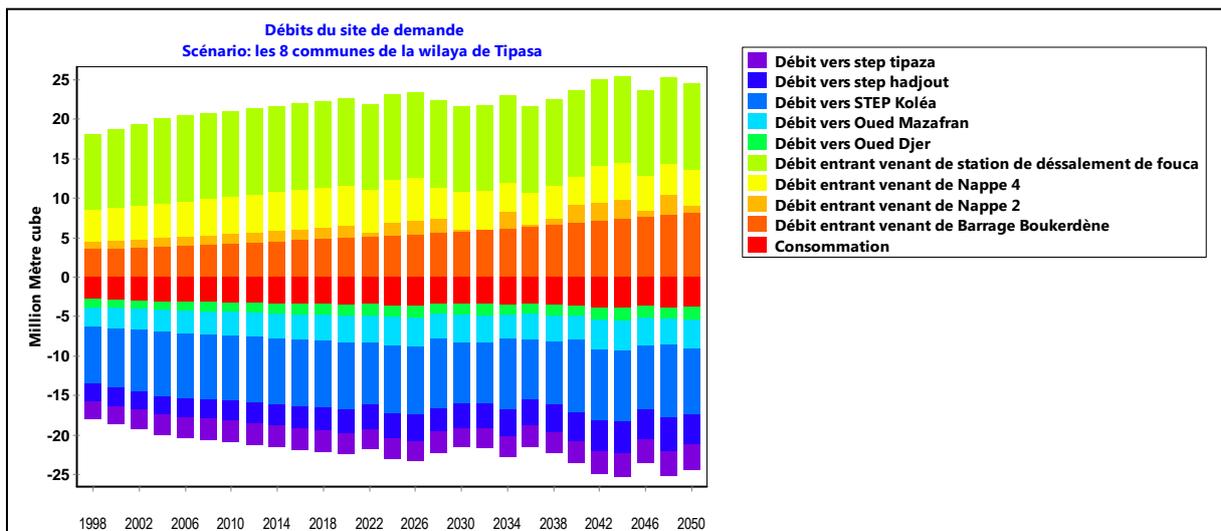


Figure VI.45 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour les 8 communes de la wilaya de Tipasa scénario RC8.5

Les graphes des Figure VI.45 montrent les débits entrants pour chaque site de demandes venant de toutes les sources ainsi que les consommations inhérentes aux différents scénarios. Les débits consommés par les besoins domestiques, élevages, touristiques, d'établissements Scolaires, d'établissements hospitaliers...qui représentent 15% de la demande totale pour chaque site varient en fonction des débits entrant. Ces derniers sont relation directe avec les projections des pluies et des températures à l'horizon 2050.

Pour les deux scénarios optimistes RC4.5 et pessimiste RC8.5, les débits entrants sont consommés en totalité c.à.d. que les autres débits représentés dans la partie inférieure des graphiques à part la consommation représentent les débits de retour soit vers les STEP ou bien vers les rejets dans les oueds. Donc, à partir de ces graphiques obtenus du modèle de gestion intégrée WEAP on peut estimer tous les volumes d'eau qui peuvent être réserver pour le secteur agricole et industrie par les biais des STEP. Ces débits consommés englobent les débits entrant venant des nappes (2 et 4), le débit de la station de dessalement et le débit venant du barrage Boukerdène. Les débits vers les STEP (Tipasa , Hadjout et Koléa) peuvent être réutiliser en agriculture. Par contre, pour assurer une utilisation efficace de toutes les ressources et protéger l'environnement, il serait judicieux de réaliser des STEP pouvant récupérer les débits rejetés vers l'oued Djer.

B- Consommation agricole:

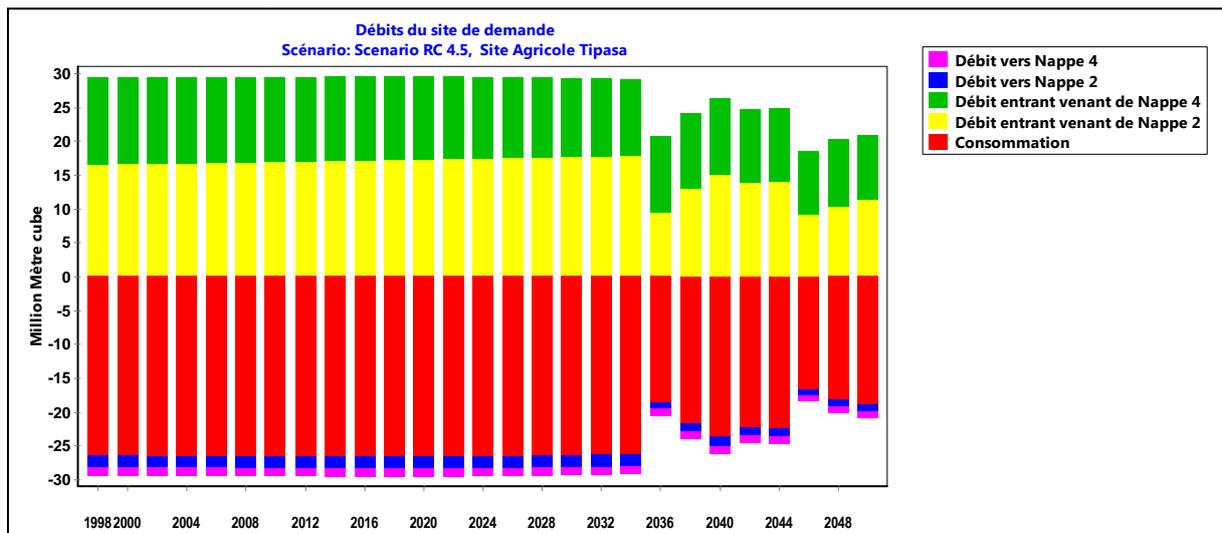


Figure VI.46. Tendence des débits des ressources en eau affectés pour le secteur agricole de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5

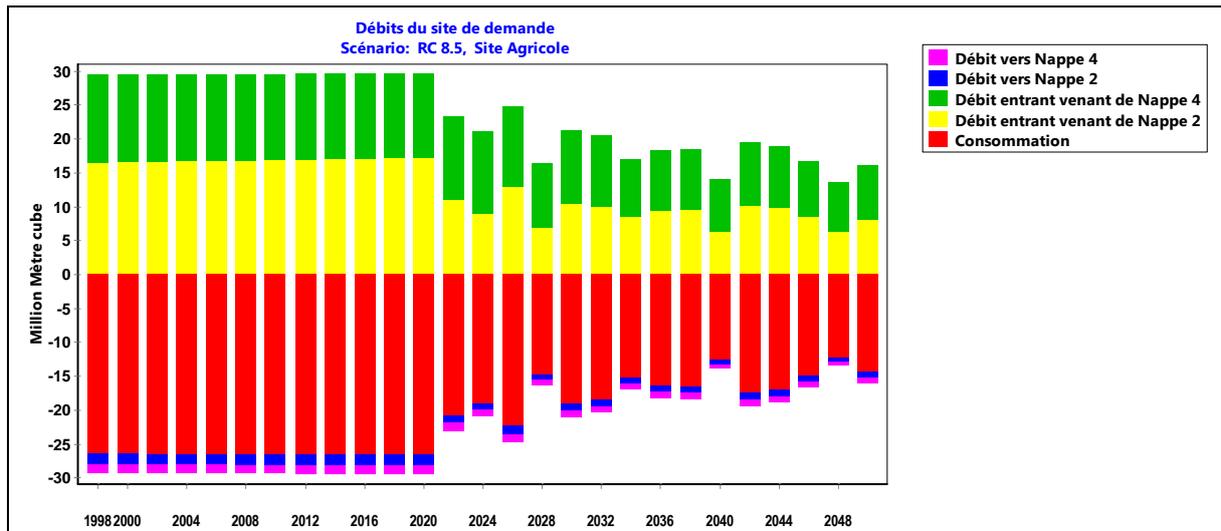


Figure VI.47. Tendence des débits des ressources en eau affectés pour le secteur agricole de la wilaya de Tipasa scénario RC8.5

Les graphes des Figure VI.47 montrent les débits entrants pour les sites agricoles, venant de toutes les sources ainsi que les consommations pour chaque scénario.

Les débits consommés par le secteur agricole représentent 90% des eaux consommés de la partie destiné à l'agriculture. Les ressources en eau disponible sont en relation directe avec les projections des pluies et températures à l'horizon 2050.

Pour les deux scénarios, les débits entrants sont consommés en totalité c.à.d. que les autres débits représentés dans la partie inférieure des graphiques à part la consommation représentent les débits venants des sites agricoles à travers les liaisons de transmission vers les deux nappes (2 et 4). Les débits de retour servent à la réalimentation de la nappe souterraine. Donc, à partir de ces graphiques obtenus du modèle de gestion intégrée WEAP on peut estimer les recharges des nappes. Ces débits consommés englobent les débits entrants venants des nappes (2 et 4). Les 10% qui reste du volume alloué à l'irrigation sera en partie évaporée depuis les couches superficielles et une partie alimentera la nappe par infiltration profonde.

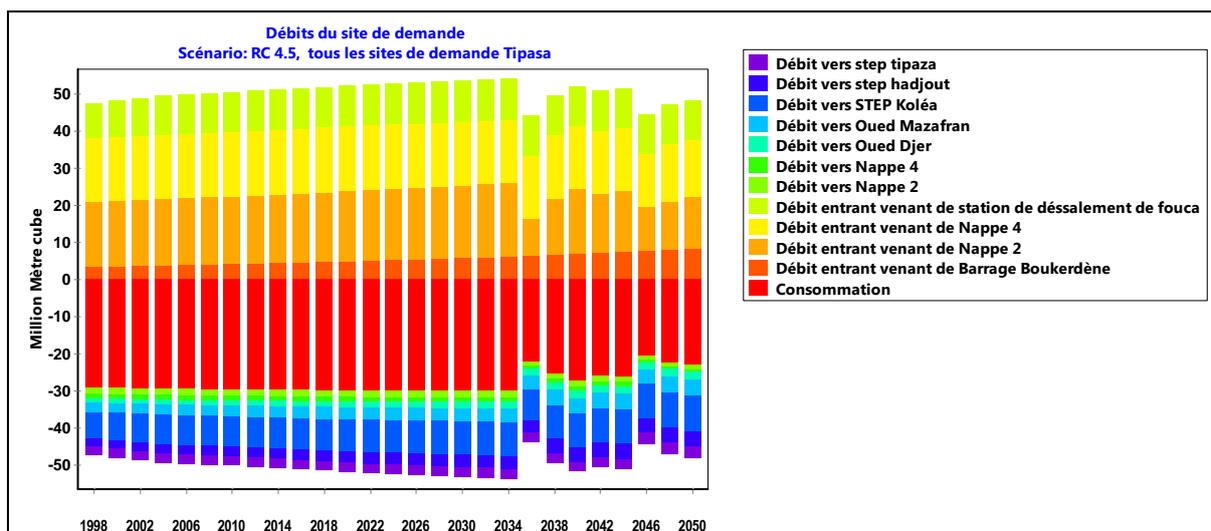


Figure VI.48. Tendence des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5

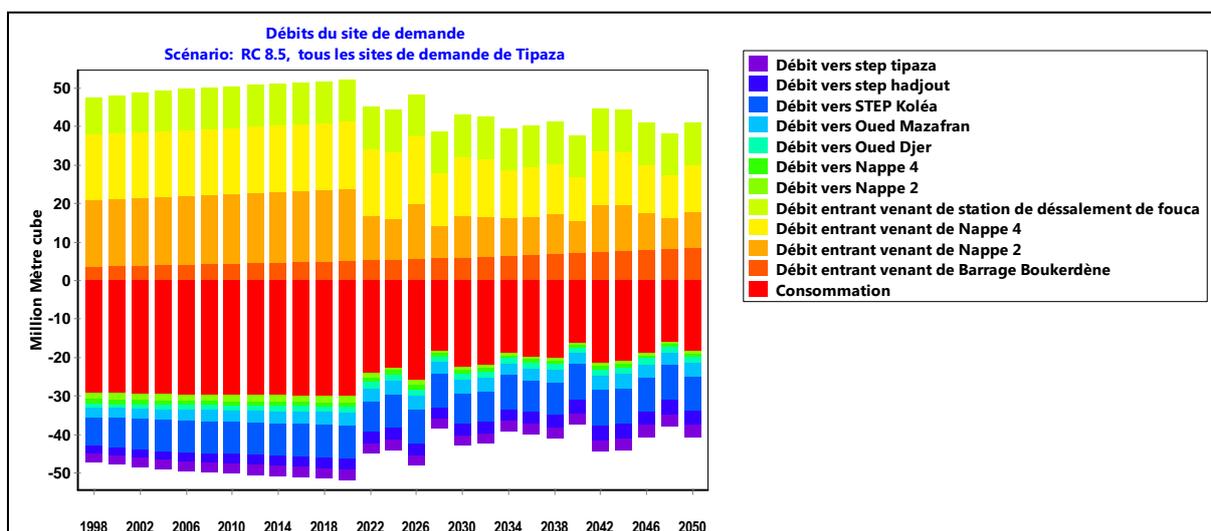


Figure VI.49 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour tous les sites de la wilaya de Tipasa scénario RC8.5

Les graphes des Figure VI.49 montrent les débits entrants pour les sites de la wilaya de Tipasa, venant de toutes les sources ainsi que les consommations pour chaque scénario. Les ressources en eau disponible sont en relation directe avec les projections des pluies et températures à l'horizon 2050. Pour les deux scénarios, les débits entrants sont consommés en totalité.

Conclusion

La problématique de l'eau s'exprime en termes de l'offre et la demande pour divers usages. Dans ce chapitre nous avons présenté les différents résultats des scénarios proposés et l'établissement des bilans des ressources-besoins à l'horizons 2050 ainsi une comparaison entre les deux scénarios. Nous avons aussi terminé avec une vision globale de l'évolution des ressources et des besoins pour l'horizon étudié dans la simulation pour chaque site de demande.

CONCLUSION GENERALE

La gestion des ressources en eau dans la région de la Mitidja (nord algérien) est un sujet complexe. Elle dépend de nombreuses contraintes: climatiques, économiques, sociales, démographiques et également les aspects relatifs à l'infrastructure utilisée pour produire et distribuer l'eau potable. De nombreuses incertitudes influencent ces contraintes, notamment la disponibilité en eau et la demande en eau de la population sans cesse croissante. Les projections futures de ces deux variables de l'équilibre sont non maîtrisables. Il est nécessaire de résoudre ces incertitudes pour pouvoir planifier une gestion durable de l'eau. Car une bonne gestion des ressources en eau permettra de prévenir les crises liées à cette précieuse et indispensable ressource et conduire à un développement durable.

Le bassin versant de Mazafran possède encore une potentialité notable en ressources en eau exploitable aussi bien souterraine que de surface.

La présente étude a permis de modéliser la gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant du Mazafran par le modèle WEAP. Ce dernier a été développé par SEI (Stockholm Environment Institute) pour simuler le bilan hydrique actuel et évaluer les stratégies de gestion des ressources en eau selon deux scénarios liés aux changements climatiques (optimiste RC4.5 et pessimiste RC8.5) à l'horizon 2050. Le modèle a été calé pour la période (1998-2007) et validé pour la période (2008-2014). Les deux scénarios construits pour cette approche reflètent l'effet des tendances futures de la demande en eau en tenant compte des différentes politiques d'exploitation et les facteurs qui peuvent influencer la demande et d'évaluer l'impact de la disponibilité des ressources en eau par le changement climatique probable dans la région d'étude.

Les simulations du modèle WEAP montrent que la demande en eau totale de la région peut être satisfaite jusqu'à l'an 2041 et à partir de 2045, le manque d'eau atteindra un maximum en 2050 avec un volume de 95,27 Mm³ pour le scénario RC4.5. Cette situation sera plus grave pour le scénario pessimiste RC8.5 où le manque d'eau se déclenchera plutôt, en 2025 et le déficit sera de l'ordre 130.95 Mm³ en 2050. Ces perturbations sont dues à des baisses des volumes d'eau en souterrain et superficiellement. Ces derniers atteindront les 46.73 Mm³ et 97 Mm³ respectivement en 2050 pour le scénario RC4.5. Par contre, pour le scénario pessimiste RC8.5, les baisses de stockage seront aggravées et atteindront les 30.4Mm³ et 97Mm³ respectivement pour l'eau souterraine et superficielle à l'horizon 2050.

Les simulations des débits des cours d'eau ont enregistré des diminutions remarquables qui sont dues à la baisse des pluies et la hausse des températures projetées pour les scénarios de changement climatique. Ces résultats ont montré que la décennie 2040-2050 sera caractérisée par un taux de 90% d'années très sèches ce qui montre l'impact négatif sur la disponibilité des ressources en eau superficielles et souterraines. Cet état de fait interpelle les gestionnaires à prendre des mesures adéquates.

Les effets des changements climatiques sur les régimes d'écoulement et les niveaux d'eau se répercuteront sur les approvisionnements en eau. La diminution de ces approvisionnements en eau de surface et en eau souterraine ainsi que l'augmentation de la demande remettraient en question tous les aspects de la gestion des ressources en eau. Par conséquent, il est impératif de prendre des mesures d'adaptation nécessaire à une bonne gestion.

Pour faire face à cette situation qui sera critique de manque d'eau, il paraît nécessaire de prévoir une stratégie de gestion intégrée pour l'exploitation de ces ressources et d'adaptation aux changements climatiques. Une évaluation des ressources avec les besoins correspondants des utilisateurs afin de pouvoir faire un choix sur le type d'exploitation.

Pour combler ce déficit, nous proposons à travers ce travail la construction d'un autre barrage pour stocker les crues hivernales et printanières en fonction du régime hydrologique de la région avec un volume de 60 Mm³ pouvant répondre à la demande du secteur agricole, ainsi que la projection d'une nouvelle usine de dessalement d'eau de mer d'une capacité de traitement de 30 Mm³ / an. Ainsi, l'utilisation de l'eau traitée en irrigation (à la sortie des quatre stations de traitement de l'eau) peut aider à économiser les volumes d'eau des barrages et des forages. L'amélioration des techniques d'irrigation, par l'introduction de nouvelles sciences de gestion de l'eau destinée à ce secteur, sera essentielle pour améliorer l'efficacité de l'irrigation et augmenter la productivité agricole. Ce secteur est considéré comme un grand consommateur d'eau. En outre, l'approvisionnement en eau potable doit répondre aux normes internationales pour réduire les fuites d'eau qui sont actuellement d'environ 30%. Grâce à ces mesures, le déficit projeté peut être réduit à un niveau acceptable pour répondre de manière appropriée à la demande en eau, par divers utilisateurs appartenant à des horizons futurs.

L'environnement WEAP a une forte capacité de modéliser le système de l'eau complexe et offre ainsi la possibilité d'évaluer rapidement l'état des ressources en eau existantes via des analyses de scénarios de gestion.

WEAP propose une approche «sous un même toit» pour modéliser un bassin hydrographique. Cela signifie que le modèle capable de simuler l'hydrologie, les besoins en eau, la qualité de l'eau et les aspects économiques. Il peut mettre en œuvre l'augmentation des infrastructures en une seule fois. Par conséquent, le modèle fournit une vue holistique de l'ensemble des travaux d'un bassin versant.

Certains des avantages du modèle WEAP:

- est un système intégré de planification des ressources en eau qui intègre les captages, modéliser la qualité de l'eau et effectuer également des analyses économiques, investissements réalisés dans le bassin par rapport aux ressources en eau disponibles. En outre, les infrastructures hydrauliques telles que les barrages et les transferts entre bassins peuvent être simultanément envisagées.
- Modèles intégrés pour: ruissellement et infiltration des précipitations, évapotranspiration, besoins des cultures et rendements, interaction eaux de surface / eaux souterraines et qualité de l'eau du cours d'eau.
- Capacité de création de modèle avec un certain nombre de fonctions intégrées
- Liens dynamiques vers des feuilles de calcul et d'autres modèles tels que MODFLOW pour les eaux souterraines et autres.
- Système de reporting puissant comprenant des graphiques, des tableaux et des cartes.
- Cependant, malgré les nombreuses caractéristiques avantageuses de WEAP, il présente des inconvénients:
- Intensifie les données, en particulier pour le module hydrologique d'humidité du sol.
- L'absence d'une fonction d'étalonnage automatisée intégrée.

Les scénarios issus du modèle de gestion développés dans cette étude peuvent être considérés comme un outil d'aide à la décision pour une gestion efficace et rationnelle des ressources en eau aux horizons futures sous l'effet des changements climatiques.

" La gouvernance de l'eau est le produit d'un dialogue entre le gouvernement, la société et la science". Turton (2007).

References Bibliographiques

- Abrishamchi A, Alizadeh A, Tajrishy M (2007)** Water resources management scenario analysis in the Karkheh river basin. Iran using the WEAP model *Hydrol Sci Technol* 23:1–12
- Adgolign TB, Srinivasa Rao GVR, Yerramsetty A (2015)** Weap modeling of surface water resources allocation in Didessa Sub Basin, West Ethiopia, *Sustain Water Res Manag*
- Ait-Ouali A (2007)** synthèse Hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la Mitidja (thèse de Magister)
- Alazzy A, Haishen L, Yonghua Z (2014)** Impact of climate change on evaluation of future water demand in the Euphrates and Aleppo basin Syria. *Proceedings ICWRS2014 Bologna Italy*. <https://doi.org/10.5194/piahs-364-307-2014>
- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M (1998)** “Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements.” FAO Irrig. and Drain. Paper 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ammari A (2012)** Vulnérabilité à l’Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois) thèse de doctorat.
- Atmos. Res, Boulder, Colo. (2008)** (Available at <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/UserMan5.3.v2.pdf>)
- Bader J C, Lamagat J P, Guiguen N (2003)** "Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal : analyse quantitative d'un conflit d'objectifs." *Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques* 48(4): 525-538.
- Baechler L (2012)** La bonne gestion de l'eau : un enjeu majeur du développement durable , *L'Europe en Formation* 2012/3 (n° 365), p. 3-21. DOI 10.3917/eufor.365.0003
- Barthel R, Jagelke J, Göttinger J, Gaiser T, Printz A (2008)** Aspects of choosing appropriate concepts for modeling groundwater resources in regional integrated water resources management Examples from the Neckar Germany and Ouémé catchment Benin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 33(1–2):92–114. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.04.013>
- Bates B C, Kundzewicz Z W, Wu S, Palutikof J P (2008)** *Climate Change and Water*. 210 (IPCC: Geneva, 2008). 125(3): 154-161.
- Ben Abdelmalek M (2014)** Etude hydrologique et modélisation des écoulements de surface aux principaux bassins versants transfrontaliers Tuniso-Algériens par WEAP. Mastère de recherche Gestion durable des ressources en eau -INATunisie-
- Benblidia M (2011)** L’efficacité d’utilisation de l’eau et approche économique (Etude nationale, Algérie)
- Benseddik B and El Mansouri B (2012)** Synthèse du Système d’aide à la Décision (SAD) Pour les Ressources en Eaux du Gharb (Decision Support System (DSS) For Water Resources in Gharb), Master’s Thesis (in French), University Ibn Tofail, Kenitra, Morocco
- Belaine G, Peralta R C, Hughes T C (1999)** "Simulation/Optimization Modeling for Water Resources Management." *Journal of Water Resources Planning and Management*
- Bouznad IE, Zouini D, Nouiri I & Khelifaoui I (2016)** Essai de Modélisation de la Gestion des ressources en eau dans la vallée d’Oued Righ (Sahara septentrional algérien) par l’Utilisation d’un outil d’aide à la décision WEAP.
- Brian J, Sebastian V, Larry D, John D, Michael H, David P, David Y (2006)** Climate change impacts on water for agriculture in California: a case study in the sacramento valley. White Paper California Climate Change Center
- Bunge M (1961)** The weight of simplicity in the construction and assaying of scientific theories. v. 28, *Philosophy of Science*: 120 p.
- Chalmers A F (1991)** *La Fabrication de la Science, La Découverte*, Paris (France).

- Charreton M B, Makkaoui R, Petit O, Requier-Desjardins M (2006)** La gouvernance des ressources en eau dans les pays en développement : enjeux nationaux et globaux, Mondes en développement 2006/3 (n° 135), p. 39-62. DOI 10.3917/med.135.0039
- Chinnasamy P, Bharati L, Bhattarai U, Khadka A, Dahal V, Walid S (2015)** Impact of planned resource development on current and future water demand in the koshi river basin, Nepal, water international, <https://doi.org/10.1080/02508060.2015.1099192>
- Coulibaly P, Anctil F, Bobee B (1999)** "Prévision hydrologique par réseaux de neurones artificiels : Etat de l'art." Canadian Journal of Civil Engineering 26(3): 293-304.
- Dembele A (2007)** historique, origine et mise en œuvre du concept de "gestion intégrée des ressources en eau" (synthèse bibliographique)
- Dooge J C I (1986)** "Looking for hydrologic laws." Water Resources Research 22(9): 4658
- Downs PW, GREGORY KJ, BROOKES A, (1991)** How integrated is river basin management? Environ. Conserv. 15, 3, 299-309
- Droogers P, J Aerts (2005)** Adaptation strategies to climate change and climate variability: a comparative study between seven contrasting river basins. Physics and chemistry of the Earth 30, pp339–346
- Duan Q, Sorooshian S , Gupta A (1992)** "Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models." Water Resources Research 28(4): 1015-1031.
- Dupont J, Smitz J, Rousseau A, Mailhot A & Gangbazo G (1998)** Utilisation des outils numériques d'aide à la décision pour la gestion de l'eau. Revue des sciences de l'eau, 11, 5–18. doi:10.7202/705326ar
- Eckhardt K, U Ulbrich (2003)** "Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range." Journal of Hydrology 284, No. 1-4: 244-52.
- Ecrement Y, Seghir B (1971)** Etude agro pédologique de la plaine de la Mitidja. Rapport ANRH
- EPTB Charente (2004)** Plan de gestion des étiages : bassin de la Charente, EPTB Charente. Institution interdépartementale pour l'aménagement du fleuve Charente et de ses affluents: 58 p + annexes.
- Fabien Christin (2008)** Etude de la Modélisation Hydrodynamique de Surface et Hydraulique Souterraine et de leur couplage dans un but d'aider a la gestion des hydrosystemes amenes (THÈSE pour obtenir le grade de Docteur).
- Flores Lopez F, Yates D, Purkey D (2012)** A regional water resource planning model to explore the water-energy nexus in the southeastern United States. Poster Fall Meeting American Geophysical Union
- Fonseca F (2008)** Effects of tourism in water demand in basin of river Gramame Case study 2008 in Portuguese Master's thesis University Federal Campina Grande Brazil
- Fortin V, T B M J Ouarda, P F Rasmussen , B Bobee (1997)** "A review of streamflow forecasting methods." Revue des Sciences de l'Eau 10(4): 461-487.
- Fraga C, Medellín Azuara J, Marques GF (2016)** Planning for infrastructure capacity expansion of urban water supply portfolios with an integrated simulation-optimization approach. Sustainable Cities and Society Vol 29. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.003>
- François Laurent (1996)** Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des ressources en eau Application aux Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (Thèse de doctorat)
- Giorgi F, Jones C, Asrar GR (2009)** Addressing climate information needs at the regional level. The CORDEX framework WMO Bulletin 58(3):175–183
- GWP (2009)** Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin

- Habi M, Bensalah F (2009)** le problème de l'eau en Algérie: une perception encore peu maîtrisée. Revue HTE 143/144
- Hamlat A, (2013)** Contribution à la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'ouest algérien à l'aide d'un système informatique. PhD thesis UST ORAN Algeria 164
- Hermans E, Droogers P, Winsemius H (2008)** Groundwater management and exploration package state of the art for Northern China. GMEP Project Future Water Report 74
- Hipel K W , Leod A I Mc (1994)** Time series modelling of water resources and environmental systems, Elsevier, Hollande
- Hong X, Gua S, Wang L, Yang G, Liu D, Guo H, Wang J, (2016)** Evaluating water supply risk in the middle and lower reaches of Hanjiang River basin based on an integrated optimal water resources allocation model. Water 8(9):364
- Hubert P (1998)** Eapuscule : une introduction à la gestion de l'eau, HGA, Bucureşti, Romania.
- Hurand P (2003)** La gestion opérationnelle d'un système hydrographique complexe : le système Neste, Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG): 61 p
- ICLEI Local Governments for Sustainability (2008a)** Partie II Comprendre le contexte- Le rôle du gouvernement local dans la GIRE, ICLEI Local Governments for Sustainability, Africa Secretariat, Cape Town, South Africa.
- ICLEI Local Governments for Sustainability (2008b)** Partie III Gouvernement local et Gestion Intégrée des ressources en eau (GIRE), ICLEI Local Governments for Sustainability, Africa Secretariat, Cape Town, South Africa.
- IPCC (2013)** Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Stocker, TF, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex , PM Midgley. Cambridge University Press Cambridge United Kingdom and New York USA
- Jacob D, Petersen J, Eggert B et al (2014)** EURO CORDEX: new high resolution climate change projections for European impact research. Reg Environ Chang 14(2):563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Jones C, Giorgi F, Asrar G (2011)** The coordinated regional downscaling experiment (CORDEX). An international downscaling link to CMIP5. Clivar Exchanges 16:34–40. <https://doi.org/10.5194/gmd-2016-120> 2016
- Journal Officiel de la République Algérienne N°4** Aouel Safar 1431; 17 Janvier 2010
- Kahlerras M, Meddi M (2016)** Régionalisation de la salinité des eaux souterraines de la Mitidja Ouest
- Kahlerras M, Meddi M, Benabdelmalek M , Toumi S , Kahlerras D, Nouiri I (2018)** Modeling water supply and demand for effective water management allocation in Mazafran basin (north of Algeria) Arabian Journal of Geosciences (2018) 11:547 <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3869-8>
- Kanhu CP, Sarat Chandra K, Rashmita KP (2015)** Projections of rainfall and surface temperature from CMIP5 models under RCP4.5 and 8.5 over BIMSTEC countries. EGU General Assembly, held 12–17 April, 2015 in Vienna, Austria. id.556
- Karmaoui A, Messouli M, Ifaadassan I, Khebiza MY (2014)** A Multidisciplinary approach to assess the environmental vulnerability at local scale in context of climate change (Pilot Study in Upper Draa Valley, South Morocco), Global Journal of Technology and Optimization, 6 (1) <https://doi.org/10.4172/2229-8711.1000167>
- Kettab A (2010)** Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision

- Kim SJ, Jun HD, Kim BS, Kim HS (2010a)** Evaluation of climate change impacts on the water resource system of the Han-River basin in South Korea for the AR4 SRES A2 Scenario. Center for Hydrology and Ecology, Civil engineering Department, Inha University, Incheon, South Korea
- Kim SJ, Jun HD, Kim BS, Kim HS (2010b)** Evaluation of climate change impacts on the water resource system of the Han-River basin in South Korea for the AR4 SRES A2 Scenario. Center for Hydrology and Ecology Civil Engineering Department Inha University Incheon South Korea
- Kizito F, Douchamps S, Venot JP (2012)** Resilience assessment and modeling of ecosystem services in the Volta basin: towards plausible interventions to enhance livelihoods. poster World Water Week Stockholm
- Klemes V (1988)** "A Hydrological Perspective." *Journal of Hydrology* 100: 3-28.
- Kopp S M (1996)** Linking GIS and hydrological models: where we have been, where we are going? In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n° 235, pp. 133-140.
- Lam D C L, Swayne D (1996)** A hybrid expert System and neural network approach to environmental modelling: GIS applications in the RAISON System. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n°235, pp. 685-694.
- Larbi A (2012)** Utilisation d'un SIG et d'un modèle mathématique pour la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin côtier Algérois 02A.(thèse de Magister).
- Latham D, Miller B, Steffensen J (1996)** A knowledgebased information management system for watershed analysis in the Pacific Northwest U.S. *AI Applic.* 10, 2, 9-22.
- Lettenmaier D P, Wood E F (1993)** Hydrologic forecasting. *Handbook of hydrology*. D. R. Maidment, McGraw-Hill, New York (USA)
- Lévite H, Sally H, Cour J (2003)** Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model. *Phys Chem Earth* 28:779–786. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.025>
- Linsen M (2009)** Barriers for water about the decision-making process regarding locations for new small dams in the Preto River Basin in the Federal District Brazil. Master's thesis, Systems Engineering, Policy Analysis and Management, Delft University of Technology, The Netherlands
- Liu Y (1995)** A pattern directed approach toward an object adaptive decision support System environment for water resource management. Delft University Press, Stevinweg 1, The Netherlands, 201 p.
- Loubier S, Gleyses G, Montginoul M, Garin P, Christin F (2008a)** "Entre création de ressource et mesures réglementaires : quelle place pour la gestion de la demande en eau d'irrigation en Charente ?" *Houille Blanche - Revue Internationale de l'Eau* 3: 8896.
- Mailhot A, Rousseau AN, Massicotte S, Dupont J, Villeneuve JR (1997)** A watershed-based System for the integrated management of surface water quality: The GIBSI System. *Water Sci. Technol.*, 36, 5, 381-387.
- Majhi S, Pattnayak KC, Pattnayak R (2016)** Projections of rainfall and surface temperature over Nabarangpur district using multiple CMIP5 models in RCP 4.5 and 8.5 scenarios. *International Journal of Applied Research* 2(3):399–405
- MaríaPedro Monzonís, PedroJiménez Fernández, AbelSolera, PabloJiménez Gavilán (2016)** The use of AQUATOOL DSS applied to the System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEAW) <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.034>
- Mathevet T (2005)** Quels modèles pluie-débit globaux au pas de temps horaire ? Développements empiriques et comparaison de modèles sur un large échantillon de bassins versants., Thèse de doctorat de l'ENGREF: 200 p.

- Meddi H, Meddi M (2009)** Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie
- McCartney MP, Arranz R (2007)** Evaluation of historic, current and future water demand in the Olifants River Catchment, South Africa. Research Report 118, International Water Management Institute (IWMI)
- Muzaffar AM, Ahmad UF, Manzoor AR, Muzafar NT, Nisar AK (2014)** Assessing water demand and supply for Srinagar City (J&K) India, under changing climatic scenarios using water evaluation and planning model (WEAP). International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER) 4(4):18–26
- Nadiah N, Firdaus Hum M, Suhaimi AT (2015)** Modeling water supply and demand for effective water management allocation in Selangor. Jurnal Teknologi 78(5–5). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8569>
- Nascimento D O N (1995)** Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'actions anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement: 550 p.
- Nikulin G, Jones C, Giorgi F, Asrar G, Büchner M, Cerezo-Mota R, Christensen OB, Déqué M, Fernandez J, Hänsler A, van Meijgaard E, Samuelsson P, Sylla MB, Sushamak L (2012)** Precipitation climatology in an ensemble of CORDEX Africa regional climate simulations. J Clim 25:6057–6078
- Nouiri I (2011)** ALL_WATER_gw Software for Groundwater Resources Management Optimization. Case Study Application: Zeuss Koutine Aquifer, Tunisia
- Nouiri I, Yitayew M, Maßmann J, Tarhouni J (2015)** Multi-objective optimization tool for integrated groundwater management. Water Resour Manag 29(14):5353–5375
- OMM (1994)** Acquisition et Traitement des données, Analyses, Prévision et autres applications. Guides des pratiques Hydrologiques. OMM-N° 168, Organisation Météorologique Mondiale, Genève (Suisse): 829 p.
- ONS (2008)** National office of the Statistics Algeria intern report
- Orlob GT (1992)** Water-quality modeling for décision making. J. Water Resour. Plan. Manage. 118, 3,295-307.
- Ouled Zaoui S, Snani S, Djebbar Y (2010)** Management of water resources at Souk-Ahras region (Algeria). 14th International Water Technology Conference, Cairo, Egypt, pp 599–607
- PNUD (1997)** Rapport Mondial sur le Développement Humain
- Polpanich OU, Chayanis Krittasudthacheewa (2012)** Future challenges in northeast Thailand: the nexus of energy, water and food investments. Abstract, World Water Week: 68–69, Stockholm, (Related Presentation(Related Presentation))
- Pouget J C, Bellaubi F, Aurélien DE SA, Zaigham Habib, Patrick LE Goulven (2003)** Un environnement de modélisation pour tester l'allocation de ressources en eau HyD2002 et ses applications
- Pouget JC, Christophe C, JC Poussin (2007)** Le cadre de modélisation
- Psomas A, Panagopoulos Y, Konsta D, Mimikou M (2016)** Designing water efficiency measures in a catchment in Greece using WEAP and SWAT models. 2nd EWaS International Conference
- Remini B (2010)** La problématique de l'eau en Algérie du nord.
- République Algérienne Démocratique et Populaire (RADP) (2010)** Secondes communications nationales de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC. RADP, Alger, pp 140–167
- Reynolds k, Cunningham P, Bednar L, Saunders M, Poster M, Olson R, Schmoldt D, (1996)** A knowledgebased information management system for watershed analysis in the Pacific Northwest U.S. AI Applic. 10, 2, 9-22.

- Rheinheimer DE, Null SE, Viers JH (2016)** Climate-adaptive water year typing for instream flow requirements in California's Sierra Nevada. *J Water Resour Plan Manag* 142:04016049
- Sarah E Null, Joshua H Viers, Jeffrey F Mount (2010)** Hydrologic Response and Watershed Sensitivity to Climate Warming in California's Sierra Nevada (doi: 10.1371/journal.pone.0009932.g002)
- SEI (2008)** Système d'évaluation et de planification des ressources en eau WEAP, tutorial: une collection de modules autonomes pour aider à apprendre le logiciel WEAP. Tellus Institute, Boston
- Shourian M , S J Mousavi , A Tahershamsi (2008)** Basin-wide Water Resources Planning by Integrating PSO Algorithm and MODSIM *Water Resour Manage* (2008) 22:1347–1366 DOI 10.1007/s11269-007-9229-1
- Suárez J, Muñoz H, Orozco S, Sánchez G, Ritter W, Carreón M, Muñoz M, Treviño J (2009)** *Gestión Ambiental* 18 pp. 49–61
- Thierry L (2013)** La répartition de l'eau sur la terre .
- Thom R (1979)** Modélisation et Scientificite. Actes du colloque "Elaboration et Justification des Modèles : Applications en Biologie" - Tome 1, Maloine, Paris (France)
- Trouvat JL(1991)** Contribution à une meilleure gestion des rivières de Gascogne, ENGREF, Cemagref, CACG: 61 p.
- Tshibamba SO (2005)** La problématique de la gestion intégrée des ressources en eau en République Démocratique du Congo: Analyse et stratégies
- Valiron F (1988)** Gestion des eaux : automatisation, informatisation, télégestion, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Vonk E (2013)** Dam reoperation as an adaptation strategy for shifting patterns of water supply and demand: a case study for the Xin'anjiang Fuchunjiang reservoir cascade China. Master's Thesis, Civil Engineering and Management, University of Twente
- Walker DH, Sinclair FL, Kendon G (1995)** A knowledge-based Systems approach to agroforestry and extension. *AI Applic.* 9, 3, 61-72
- Wigley TM (2004)** MAGICC/SCENGEN 4.1 Technical manual. Available <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/installation.html>. Accessed 30 Nov 2008
- Wigley TM (2008)** MAGICC/SCENGEN 5.3: User manual (version 2), Natl. Cent. for
- Wigley T (2008)** MAGICC/SCENGEN 5.3 user manual (version 2). NCAR, Boulder, CO, USA, 1–81.
- Wilde WD (1994)** Australian expert Systems for natural Systems. *AI Applic.* 8, 3, 3-12.
- Winter TC, JW Harvey, OL Franke, and WM Alley (1998)** Ground Water and Surface water A Single Resource U.S. Geological Survey Circular 1139
- Yates D, Sieber J, Purkey DR, Huber Lee A (2005a)** WEAP21 a demand, priority, and preference-driven water planning model: part1 model characteristics. *Water Int* 30(4):487–500
- YatesD, PurkeyDR, Sieber J, Huber Lee A, Galbraith H(2005b)**Weap21 a demand, priority, and preference-driven water planning model part2 , aiding fresh water ecosystem service evaluation. *Water Int* 30(4):501–512
- Zeroual A (2016)** Évolution du climat du passé récent vers le futur en Algérie. Phd Thesis, ENSH Blida, Algeria, 300

ANNEXES

ANNEXE 1:**Tableau 1-1: La période d'observation (pluie en mm.) par sous bassin versant :**

Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
P BV1	536.00	371.90	522.10	574.10	811.20	461.80	1014.00	526.00	711.60	681.20
P BV2	641.90	495.90	612.40	478.80	663.10	609.40	738.30	367.60	525.50	388.90
P BV3	694.20	544.10	616.50	540.70	975.30	663.20	762.70	455.80	591.40	393.80
P BV4	617.80	498.60	596.70	523.80	938.40	640.10	783.90	422.80	579.20	416.90

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
P BV1	910.60	680.00	496.50	400.00	607.70	648.50	217.10	489.70	533.70	340.50
P BV2	458.20	695.70	459.60	439.70	681.60	797.70	378.40	695.40	551.30	421.80
P BV3	538.50	809.30	395.90	377.80	689.30	322.40	345.70	298.40	476.40	389.00
P BV4	639.20	690.00	500.00	524.60	904.50	859.50	396.00	889.90	549.50	489.40

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
P BV1	464.40	271.90	576.20	550.00	433.30	558.90	480.00	488.40	978.10	468.70
P BV2	456.30	365.50	793.60	640.30	517.00	551.50	260.00	448.80	287.60	429.70
P BV3	485.70	376.80	896.50	485.30	535.00	626.50	731.90	551.30	684.10	564.30
P BV4	608.90	487.80	957.80	773.80	652.20	760.80	678.10	636.80	811.70	748.80

Année	2010	2011	2012	2013	2014
P BV1	556.70	676.20	760.70	737.60	488.10
P BV2	767.30	655.50	649.40	715.40	485.00
P BV3	828.00	560.00	630.00	730.00	500.40
P BV4	790.80	876.30	793.50	725.20	495.50

Tableau 1- 2: La période de projection (pluie en mm.) par sous bassin versant scénario RC 4.5 :

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
P BV1	612.61	629.15	762.81	493.59	598.56	492.99	170.30	666.77	686.00	244.03
P BV2	585.09	600.89	728.55	471.42	571.68	470.85	162.65	636.83	655.19	233.07
P BV3	613.91	630.49	764.44	494.65	599.84	494.05	170.66	668.20	687.47	244.55
P BV4	711.59	730.80	886.06	573.35	695.27	572.65	197.81	774.51	796.84	283.46

Année	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
P BV1	599.91	228.09	294.04	594.45	529.31	797.60	421.88	283.68	94.55	679.49
P BV2	572.97	217.85	280.83	567.75	505.54	761.78	402.93	270.94	90.31	648.97
P BV3	601.19	228.58	294.67	595.72	530.44	799.31	422.78	284.29	94.76	680.94
P BV4	696.85	264.95	341.55	690.50	614.83	926.48	490.05	329.52	109.83	789.29

Année	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
P BV1	268.32	212.45	604.73	404.43	597.20	528.99	217.53	470.64	755.38	450.33
P BV2	256.27	202.91	577.57	386.26	570.38	505.23	207.76	449.50	721.46	430.11
P BV3	268.89	212.91	606.03	405.29	598.48	530.12	217.99	471.65	757.00	451.29
P BV4	311.67	246.78	702.45	469.77	693.70	614.46	252.68	546.69	877.44	523.10

Année	2045	2046	2047	2048	2049	2050
P BV1	447.18	258.23	218.14	338.03	534.00	409.31
P BV2	427.10	246.63	208.34	322.85	510.02	390.92
P BV3	448.14	258.78	218.60	338.75	535.14	410.18
P BV4	519.44	299.95	253.38	392.65	620.29	475.44

Tableau 1-3: La période d'observation (pluie moyenne en mm , température en °c) :

Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
T°c	18.18	19.78	20.01	19.77	20	18.55	19.63	19.08	18.68	18.99
Pmoy(mm)	622.48	477.63	586.93	529.35	847.00	593.63	824.73	443.05	601.93	470.20
ETP (mm)										

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
T°c	18.24	17.96	18.69	19.18	18.99	19.82	19.08	21.03	21.54	19.07
Pmoy(mm)	636.63	718.75	463.00	435.53	720.78	657.03	334.30	593.35	527.73	410.18

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
T°c	18.99	19.04	19.34	19.58	18.49	17.58	17.87	19.09	19.13	18.84
Pmoy(mm)	503.83	375.50	806.03	612.35	534.38	624.43	537.50	531.33	690.38	552.88

Année	2010	2011	2012	2013	2014
T°c	18.88	18.23	17.96	19.83	20.26
Pmoy(mm)	735.70	692.00	708.40	727.05	492.25

Tableau1-4: La période de projection (pluie , température) scénario RC4.5 :

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
T°c	19.48	19.15	20.3	19.28	19.25	20.18	19.08	19.47	19.45	19.92
Pmoy(mm)	630.80	647.83	785.47	508.25	616.34	507.64	175.36	686.58	706.38	251.28

Année	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
T°c	18.84	19.46	20.41	19.9	19.97	19.1	19.64	20.47	20.55	19.12
Pmoy(mm)	617.73	234.87	302.77	612.11	545.03	821.29	434.41	292.11	97.36	699.67

Année	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
T°c	19.51	19.89	18.89	19.94	19.55	20.18	20.84	20.58	19.42	20.15
Pmoy(mm)	276.29	218.76	622.70	416.44	614.94	544.70	223.99	484.62	777.82	463.71

Année	2045	2046	2047	2048	2049	2050
T°c	21.28	20.7	20.39	20.79	20.56	20.28
Pmoy(mm)	460.47	265.90	224.62	348.07	549.86	421.46

Tableau1-5: La période de projection (pluie , température) scénario RC8.5

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
T°c	16.99	17.60	17.78	18.03	18.06	17.95	17.65	17.44	18.67	17.71
Pmoy(mm)	555.11	388.31	123.48	297.20	221.25	234.81	235.26	298.34	226.42	227.01

Année	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
T°c	17.58	17.64	18.70	18.15	19.02	18.55	17.95	18.12	18.21	18.50
Pmoy(mm)	301.67	406.00	334.66	178.44	255.40	296.13	264.95	286.58	339.47	242.92

Année	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
T°c	18.99	18.57	18.70	17.73	18.59	18.64	18.33	18.88	18.78	18.34
Pmoy(mm)	244.70	284.95	461.35	297.14	324.74	184.79	330.94	361.20	341.71	354.26

Année	2045	2046	2047	2048	2049	2050
T°c	18.46	18.71	17.92	18.90	19.60	18.92
Pmoy(mm)	311.50	283.27	332.53	190.90	372.18	279.88

ANNEXE N° 2

Communes situées dans le bassin versant avec le nombre d'habitant , les équipements (sanitaire et éducatif) et le secteur de l'élevage et besoins en eau pour l'année de référence 1998

Tableau 2-1: Wilaya de Tipaza

Commune	Nombre d'hab.	Dotation l/J/hab	Besoin en eau journalière m ³ /J	Besoin en eau ann. m ³ /an
Tipaza	26606	190	5775.43	1845126.1
Attatba	28540	111	3167.94	1156298.1
Sidi rached	11668	149	1738.53	634564.18
Koléa	57379	250	20082.53	7330167.25
Chaiba	21545	90	1939.05	707753.25
Ahmeur el Ain	31185	125	3898.125	1422815.625
Hadjout	51219	140	7170.66	2617290.9

(source Monographie de Tipaza 2012)

Tableau 2-2: Wilaya de Blida

Commune	Nombre d'hab.	Dotation l/J/hab	Besoin en eau journalière m ³ /J	Besoin en eau ann. m ³ /an
Blida	172539	203	35025.42	12784277.21
El-Afroun	44790	135	6046.65	2207027.25
Beni-Tamou	38211	200	7642.2	2789403
Beni-Meurad	36269	154	5585.426	2038680.49
Oued Elaeug	42938	145	6226.01	2272493.65
Boufarik	75357	137	10323.91	3768226.785
Chiffa	36144	135	4879.44	1780995.6
Mouzaia	55432	100	5543.2	2023268
Soumaa	39512	130	5136.56	1874844.4

(source Monographie de Blida 2012)

Tableau 2-3: La couverture sanitaire wilaya de Tipaza par commune

Commune	Equipements. (année de référence)	Besoin en eau journalière m ³ /J	Besoin en eau ann. m ³ /an
Tipaza	Hopital/polyclinique /salle de soins	29.6	10804
Attatba	polyclinique /salle de soins	4	1460
Sidi rached	polyclinique /salle de soins	4	1460
Koléa	Hopital/polyclinique /salle de soins	74.8	27302
Chaiba	polyclinique /salle de soins	7.2	2628
Ahmeur el Ain	polyclinique /salle de soins	7.2	2628
Hadjout	Hopital/polyclinique /salle de soins	59	21535

Tableau 2- 4: La couverture sanitaire wilaya de BLIDA par commune

Commune	Equipements. (année de référence)	Besoin en eau journalière m ³ /J	Besoin en eau ann. m ³ /an
Blida	Hopital/polyclinique /salle de soins	487.2	177828
El-Afroun	polyclinique /salle de soins	35.2	12848
Beni-Tamou	polyclinique /salle de soins	10	3650
Beni-Meurad	Hopital/polyclinique /salle de soins	6.8	2482
Oued Elaeug	polyclinique /salle de soins	11.2	4088
Boufarik	polyclinique /salle de soins	64.6	23597
Chiffa	Hopital/polyclinique /salle de soins	11.2	4088
Mouzaia	polyclinique /salle de soins	12.4	4526
Soumaa	polyclinique /salle de soins	10	3650

Tableau 2-5 - Education W. Tipaza :

Commune	Effectif total	Dotation	Besoin en eau jour. m ³ /J	Besoin en eau an. m ³ /an
Tipaza	7166	20	143.32	52311.8
Attatba	6699	20	133.98	48902.7
Sidi rached	2012	20	40.24	14687.6
Koléa	13611	20	272.22	99360.3
Chaiba	4676	20	93.52	34134.8
Ahmeur el Ain	7397	20	147.94	53998.1
Hadjout	12684	20	253.68	92593.2

Tableau 2-6: Education W. Blida :

Commune	Effectif total	Dotation	Besoin en eau jour. m ³ /J	Besoin en eau an. m ³ /an
Blida	15500	20	310	113150
El-Afroun	7700	20	154	56210
Beni-Tamou	8750	20	175	63875
Beni-Meurad	7000	20	140	51100
Oued Elaeug	10200	20	104	74460
Boufarik	10600	20	212	77380
Chiffa	6800	20	136	49640
Mouzaia	7300	20	146	53290
Soumaa	10400	20	208	75920

Tableau 2-7: Secteur de l'élevage W. Tipaza

Commune	Type de l'élevage	Effectif total	Dotation	Besoin en eau jour. m ³ /J	Besoin en eau an. m ³ /an
Tipaza	1-bovins	370	70	25.9	9453.5
	2-ovins	2459	10	24.59	8975.35
	3-caprins	378	10	3.78	1379.7
	4-volailles	108795	1	108.8	39.71.2
Attatba	1-bovins	740	70	51.8	9453.5
	2-ovins	4917	10	49.17	8975.35
	3-caprins	756	10	7.56	1379.7
	4-volailles	217590	1	217.59	3971.2
Sidi rached	1-bovins	1321	70	92.47	18907
	2-ovins	8779	10	87.79	17947.05
	3-caprins	1350	10	13.5	2759.4
	4-volailles	388553	1	388.553	79420.35
Koléa	1-bovins	317	70	92.47	33751.55
	2-ovins	2107	10	21.07	7690.55
	3-caprins	324	10	3.24	1182.6
	4-volailles	93253	1	93.256	34038.44
Chaiba	1-bovins	687	70	48.09	17552.85
	2-ovins	2107	10	21.07	7690.55
	3-caprins	702	10	7.02	2562.3
	4-volailles	202048	1	202.048	73747.52
Ahmeur el Ain	1-bovins	846	70	59.22	21615.3
	2-ovins	5619	10	56.19	20509.35
	3-caprins	864	10	8.64	3153.6
	4-volailles	248674	1	248.674	90766.01
Hadjout	1-bovins	1004	70	70.28	25652.2
	2-ovins	6672	10	66.72	24352.8
	3-caprins	1026	10	10.26	3744.9
	4-volailles	295300	1	295.3	107784.5

Tableau 2-8: Elevage W. Blida :

Commune	Type de l'élevage	Effectif total	Dotation	Besoin en eau jour. m ³ /J	Besoin en eau an. m ³ /an
Blida	1-bovins	259	70	18.13	6617.45
	2-ovins	488	10	4.88	1781.2
	3-caprins	95	10	0.95	346.75
	4-volailles	30923	1	30.923	11286.895
El-Afroun	1-bovins	1295	70	90.65	33087.25
	2-ovins	2436	10	24.36	8891.4
	3-caprins	475	10	4.75	1733.75
	4-volailles	154614	1	154.614	56434.11
Beni-Tamou	1-bovins	518	70	36.26	13234.9
	2-ovins	976	10	9.76	3562.4

	3-caprins	190	10	1.9	693.5
	4-volailles	61846	1	61.846	22573.79
Beni-Meurad	1-bovins	454	70	31.78	11599.7
	2-ovins	853	10	8.53	3124.4
	3-caprins	167	10	1.67	609.55
	4-volailles	54115	1	54.115	19751.975
Oued Elaeg	1-bovins	583	70	40.81	14895.65
	2-ovins	1097	10	10.97	4004.05
	3-caprins	214	10	2.14	781.1
	4-volailles	69577	1	69.577	25395.605
Boufarik	1-bovins	842	70	58.94	21513.1
	2-ovins	1584	10	15.84	5781.6
	3-caprins	309	10	3.09	1127.85
	4-volailles	100499	1	100.499	36682.135
Chiffa	1-bovins	972	70	68.04	24834.6
	2-ovins	1827	10	18.27	6668.55
	3-caprins	356	10	3.56	1299.4
	4-volailles	115961	1	115.961	42325.765
Mouzaia	1-bovins	842	70	58.94	21513.1
	2-ovins	1584	10	15.84	5781.6
	3-caprins	309	10	3.09	1127.85
	4-volailles	100499	1	100.499	36682.135
Soumaa	1-bovins	713	70	49.91	18217.15
	2-ovins	1340	10	13.40	4891
	3-caprins	261	10	2.61	952.65
	4-volailles	85038	1	85.038	31038.87

Tableau 2-9: Secteur de tourisme :

La région d'étude est une zone touristique par excellence (mer méditerranée, ruines romaines ect...) , elle constitue d'un nombre important d'infrastructures avec la plus grande partie se trouve dans la commune de Tipaza à savoir:

Commune de Tipaza:

Equipement	Capacité Lit	Dotation l/j/lit	Besoin en eau jour. m ³ /J	Besoin en eau an. m ³ /an
Hôtels	2475	200	495	180675
Camping	4020	200	804	293460
Autres (villas, appartement, Bungalows)	2695	200	531.8	194107

Source Monographie de Tipaza 2012

Tableau 2-10: Besoins en eau d'Irrigation

1. Grand périmètre :

Périmètre	Superficie Irriguée (Ha)	Besoins en eau(Hm ³ /an)
Mitidja Ouest	7 500	35,58

2. Petite et moyenne hydraulique (PMH) :

Wilaya	Superficie Irriguée (Ha)	Besoins en eau (Hm ³ /an).
Tipaza	7572	35.93
Blida	7503	35.6

Ces informations sont introduites dans le modèle WEAP comme des sites de demande, et seront nommées comme: (PI , Agriculture Blida et Agriculture Tipaza)

ANNEXE N°3

Tableau N°3- 1 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité de l'eau

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1,365 079 × conductivité (*) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 50 et 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,947 658 × conductivité (*) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 166 et 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,769 574 × conductivité (*) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,715 920 × conductivité (*) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,758 544 × conductivité (*) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité supérieure à 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,850 432 × conductivité (*) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C

(*) × 1,116 pour 25 °C.
C. RICHARD, NGUYEN VAN CU. Relation entre la résistivité d'une eau et son taux de minéralisation.
L'eau, 1961, 1, p. 22-24.

Tableau N°3- 2 : Localisation des puits et des forages et leurs caractéristiques du qualité

x	y	Lieu	Nature	Nappe	CE μ /cm	Coefficient	Salinité (g/l)
511 750	361 875	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	300	0.76	0.23
510 050	361 450	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	1 153	0.76	0.88
516 400	357 800	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	384	0.72	0.28
493 450	358 800	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	1 774	0.76	1.35
512 500	363 550	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	644	0.72	0.46
520 150	363 520	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	793	0.72	0.57
491 200	355 640	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	3 510	0.76	2.67
488 600	352 230	mitidjaouest	PUITS	Mitidja	2 910	0.76	2.21
496 120	352 200	mitidjaouest	PUITS	Mitidja	2 170	0.76	1.65
500 470	354 670	mitidjaouest	PUITS	Mitidja	717	0.72	0.52
503 950	352 600	mitidjaouest	PUITS	Mitidja	1 210	0.76	0.92
503 500	356 950	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	797	0.72	0.57
504 150	355 700	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	949	0.76	0.72
506 000	364 000	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	750	0.72	0.54
505 700	351 300	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	1 200	0.76	0.91
502 750	360 850	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	1 084	0.76	0.82
504 500	349 450	mitidjaouest	PUITS	Mitidja	1 351	0.76	1.03
503 750	358 120	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	825	0.72	0.59
507 200	357 150	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	850	0.76	0.65
506 000	364 000	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	500	0.72	0.36
509 750	368 750	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	2 400	0.76	1.82
513 100	369 600	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	1 480	0.76	1.12
507 250	365 800	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	480	0.72	0.35
550 650	370 750	MITIDJA EST	PUITS	Mitidja	1 500	0.76	1.14
553 650	374 620	MITIDJA EST	PUITS	MITIDJA	2 500	0.76	1.90
519 500	369 500	MITIDJA EST	Piézometre	Mitidja	2 300	0.76	1.75
545 950	368 500	MITIDJA EST	PUITS	Mitidja	1 800	0.76	1.37
539 200	373 150	MITIDJA EST	FORAGE	Mitidja	1 273	0.76	0.97
533 750	361 100	MITIDJA EST	FORAGE	Mitidja	1 800	0.76	1.37
534 770	361 500	MITIDJA EST	FORAGE	Mitidja	1 000	0.76	0.76
541 270	363 070	MITIDJA EST	FORAGE	Mitidja	1 500	0.76	1.14
534 900	367 700	MITIDJA EST	FORAGE	Mitidja	1 500	0.76	1.14
533 800	371 750	MITIDJA EST	Piézometre	Mitidja	765	0.72	0.55
547 900	382 900	MITIDJA EST	FORAGE	Mitidja	2 000	0.76	1.52
558 620	379 920	MITIDJA EST	PUITS	Mitidja	2 000	0.76	1.52
550 350	381 650	MITIDJA EST	FORAGE	Mitidja	948	0.76	0.72
556 500	384 350	MITIDJA EST	PUITS	Mitidja	2 800	0.76	2.13
557 900	384 670	MITIDJA EST	PUITS	Mitidja	1 845	0.76	1.40
504 150	355 700	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	1 200	0.76	0.91
512 050	360 200	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	533	0.72	0.38
506 000	364 000	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	1 164	0.76	0.88
493 450	358 800	mitidjaouest	Piézometre	Mitidja	2 100	0.76	1.60
512 500	363 550	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	612	0.72	0.44
488 600	352 230	mitidjaouest	PUITS	Mitidja	2 490	0.76	1.89
496 120	352 200	mitidjaouest	PUITS	Mitidja	2 200	0.76	1.67
503 750	358 120	mitidjaouest	FORAGE	Mitidja	900	0.76	0.68
552 750	385 600	mitidjaest	PUITS	Mitidja	2 250	0.76	1.71
558 620	379 920	mitidjaest	PUITS	Mitidja	2 780	0.76	2.11
557 900	384 670	mitidjaest	PUITS	Mitidja	2 200	0.76	1.67
545 950	368 500	mitidjaest	PUITS	Mitidja	1 700	0.76	1.29
539 200	373 150	mitidjaest	FORAGE	Mitidja	1 400	0.76	1.06
533 750	361 100	mitidjaest	FORAGE	Mitidja	1 600	0.76	1.22
534 770	361 500	mitidjaest	FORAGE	Mitidja	826	0.72	0.59
541 270	363 070	mitidjaest	FORAGE	Mitidja	1 900	0.76	1.44
547 900	382 900	mitidjaest	FORAGE	Mitidja	1 851	0.76	1.41
530 100	360 550	mitidjaest	Piézomètre	Mitidja	1 768	0.76	1.34

Tableau N°3- 3 : Coordonnées de puits et forages en degré décimaux

X (Lambert)	Y (lambert)	X (Longitude)	Y (Latitude)
511750	361875	2.83	36.56
510050	361450	2.81	36.55
516400	357800	2.88	36.52
493450	358800	2.63	36.53
512500	363550	2.84	36.57
520150	363520	2.93	36.57
491200	355640	2.60	36.50
488600	352230	2.57	36.47
496120	352200	2.66	36.47
500470	354670	2.71	36.49
503950	352600	2.74	36.47
503500	356950	2.74	36.51
504150	355700	2.75	36.50
506000	364000	2.77	36.58
505700	351300	2.76	36.46
502750	360850	2.73	36.55
504500	349450	2.75	36.45
503750	358120	2.74	36.52
507200	357150	2.78	36.52
506000	364000	2.77	36.58
509750	368750	2.81	36.62
513100	369600	2.85	36.63
507250	365800	2.78	36.59
550650	370750	3.27	36.64
553650	374620	3.30	36.67
519500	369500	2.92	36.63
545950	368500	3.21	36.62
539200	373150	3.14	36.66
533750	361100	3.08	36.55
534770	361500	3.09	36.55
541270	363070	3.16	36.57
534900	367700	3.09	36.61
533800	371750	3.08	36.65
547900	382900	3.24	36.75
558620	379920	3.36	36.72
550350	381650	3.26	36.73
556500	384350	3.33	36.76
557900	384670	3.35	36.76
504150	355700	2.75	36.50
512050	360200	2.83	36.54
506000	364000	2.77	36.58
493450	358800	2.63	36.53
512500	363550	2.84	36.57
488600	352230	2.57	36.47
496120	352200	2.66	36.47
503750	358120	2.74	36.52
552750	385600	3.29	36.77
558620	379920	3.36	36.72
557900	384670	3.35	36.76
545950	368500	3.21	36.62
539200	373150	3.14	36.66
533750	361100	3.08	36.55
534770	361500	3.09	36.55
541270	363070	3.16	36.57
547900	382900	3.24	36.75
530100	360550	3.04	36.55

ANNEXE N°4

Tableau N°4-1 Simulation du climat scénario RC4.5

Année	débit Mm3	P(mm)	Type de l'année
2015	202.307	630.80	normale
2016	205.001	647.83	normale
2017	222.649	785.47	humide
2018	188.902	508.25	très sèche
2019	202.907	616.34	normale
2020	190.06	507.64	très sèche
2021	149.518	175.36	très sèche
2022	213.504	686.58	normale
2023	216.589	706.38	normale
2024	160.84	251.28	très sèche
2025	206.899	617.73	normale
2026	160.121	234.87	très sèche
2027	169.208	302.77	très sèche
2028	208.221	612.11	normale
2029	200.604	545.03	très sèche
2030	235.541	821.29	humide
2031	188.318	434.41	très sèche
2032	171.412	292.11	très sèche
2033	134.01	97.36	très sèche
2034	223.402	699.67	normale
2035	166.3	276.29	très sèche
2036	154.048	218.76	très sèche
2037	214.516	622.70	normale
2038	181.101	416.44	très sèche
2039	213.076	614.94	sèche
2040	201.446	544.70	très sèche
2041	151.611	223.99	très sèche
2042	192.595	484.62	très sèche
2043	240.436	777.82	humide
2044	191.064	463.71	très sèche
2045	190.134	460.47	très sèche
2046	160.051	265.90	très sèche
2047	154.043	224.62	très sèche
2048	172.593	348.07	très sèche
2049	205.142	549.86	très sèche
2050	183.417	421.46	Très sèche

Tableau N°4-2 Simulation du climat scénario RC8.5

Année	débit Mm3	P(mm)	Type de l'année
2015	192.705	555.11	Très sèche
2016	172.687	388.31	Très sèche
2017	140.571	123.48	Très sèche
2018	162.63	297.2	Très sèche
2019	150.702	221.25	Très sèche
2020	148.612	234.81	Très sèche
2021	143.068	235.26	Très sèche
2022	155.407	298.34	Très sèche
2023	142.278	226.42	Très sèche
2024	143.445	227.01	Très sèche
2025	157.039	301.67	Très sèche
2026	172.536	406	Très sèche
2027	159.487	334.66	Très sèche
2028	129.843	178.44	Très sèche
2029	146.052	255.4	Très sèche
2030	153.27	296.13	Très sèche
2031	147.727	264.95	Très sèche
2032	152.115	286.58	Très sèche
2033	161.281	339.47	Très sèche
2034	140.651	242.92	Très sèche
2035	141.369	244.7	Très sèche
2036	149.71	284.95	Très sèche
2037	184.637	461.35	Très sèche
2038	154.041	297.14	Très sèche
2039	158.72	324.74	Très sèche
2040	129.877	184.79	Très sèche
2041	161.057	330.94	Très sèche
2042	167.183	361.2	Très sèche
2043	163.471	341.71	Très sèche
2044	166.401	354.26	Très sèche
2045	157.89	311.5	Très sèche
2046	152.389	283.27	Très sèche
2047	162.887	332.53	Très sèche
2048	133.428	190.9	Très sèche
2049	171.867	372.18	Très sèche
2050	152.931	279.88	Très sèche

ANNEXE N°5

Tableau N°5-1 la demande non satisfaite pour le scénario RC4.5 jusqu'à 2050

Site de demande	1998	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Agriculture W Blida 3	8.631	9.036	11.143	13.376	15.712	18.128	21.960
Agriculture W Tipaza 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.495	7.384
Attatba	0.602	0.633	0.817	1.053	1.400	1.851	2.615
Beni Tamou	0.544	0.589	0.862	1.229	1.716	2.356	3.398
BeniMered	0.531	0.575	0.842	1.202	1.680	2.308	3.331
Blida	3.505	3.801	5.592	8.009	11.230	15.468	22.372
Boufarik	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.793	7.037
Bourkika	0.460	0.485	0.633	0.823	1.103	1.468	2.084
Chaiba	0.000	0.000	0.169	0.461	0.821	1.282	1.859
Chiffa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.621	3.253
Elafroun	0.871	0.919	1.200	1.565	2.095	2.789	3.963
Hadjout	1.312	1.382	1.791	2.319	3.088	4.095	5.448
Hmer El ain	0.661	0.695	0.896	1.157	1.534	2.027	2.862
INDUSTRIE BLIDA 1	2.424	2.528	3.056	3.595	4.140	4.682	5.559
Koléa	0.000	0.000	0.949	2.620	4.699	7.397	10.812
Mouzaia	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.412	4.851
PI	7.478	7.620	8.360	9.149	9.455	9.645	13.677
SidiRached	0.228	0.241	0.315	0.410	0.547	0.728	1.037
Soumaa	0.575	0.623	0.911	1.299	1.814	2.489	3.590
Tipaza	0.309	0.317	0.361	0.939	1.600	2.217	2.598
agriculture tipaza 1	6.571	6.696	7.346	8.039	9.028	10.084	12.017
oued ei alleug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.622	4.102

Tableau N°5-2 La demande non satisfaite pour le scénario RC8.5 jusqu'à 2050

	1998	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Agriculture W Blida 3	8.631	9.036	11.143	21.592	20.938	29.911	27.351
Agriculture W Tipaza 2	0	0	0	1.949	7.677	12.097	10.479
Attatba	0.602	0.633	0.817	1.054	1.547	2.461	2.944
Beni Tamou	0.544	0.589	0.862	1.988	2.291	3.891	4.234
BeniMered	0.531	0.575	0.842	1.944	2.242	3.811	4.15
Blida	3.505	3.801	5.592	12.931	14.969	25.522	27.865
Boufarik	0	0	0	1.097	5.148	9.667	9.986
Bourkika	0.46	0.485	0.633	0.824	1.218	1.951	2.347
Chaiba	0	0	0.169	0.462	1.028	1.281	2.045
Chiffa	0	0	0	0	1.912	3.053	3.665
Elafroun	0.871	0.919	1.2	1.565	2.316	3.71	4.465
Hadjout	1.312	1.382	1.791	2.32	3.415	4.303	5.992
Hmer El ain	0.661	0.695	0.896	1.155	1.695	2.695	3.225
INDUSTRIE BLIDA 1	2.424	2.528	3.056	5.805	5.518	7.725	6.924
Koléa	0	0	0.949	2.62	5.892	7.397	11.882
Mouzaia	0	0	0	0	2.842	4.545	5.463
PI	7.478	7.62	8.36	9.149	11.362	15.261	15.401
SidiRached	0.228	0.241	0.315	0.41	0.607	0.972	1.171
Soumaa	0.575	0.623	0.911	2.101	2.416	4.111	4.474
Tipaza	0.309	0.317	0.361	0.939	1.906	2.217	2.598
agriculture tipaza 1	6.571	6.696	7.346	8.039	9.984	13.409	13.533
oued ei alleug	0	0	0	0.639	2.998	5.633	5.821

ANNEXE N°6

Tableau N°6-1 Les demandes en eau par wilaya (AEP, élevage , santé , éducation)des communes de la Wilaya de Blida

	Beni Tamou	Beni Mered	Blida	Boufarik	Chiffa	Elafroun	Mouzaia	Soumaa	oued El alleug	Totale
2000	2.34	2.28	15.04	6.56	2.26	2.69	3.32	2.47	3.81	40.77
2005	2.57	2.51	16.59	7.23	2.48	2.96	3.65	2.72	4.20	44.91
2010	2.83	2.76	18.30	7.97	2.72	3.26	4.02	2.99	4.63	49.48
2015	3.11	3.04	20.19	8.78	2.99	3.60	4.43	3.29	5.11	54.53
2020	3.42	3.35	22.28	9.67	3.29	3.96	4.87	3.62	5.63	60.10
2025	3.77	3.69	24.58	10.66	3.62	4.37	5.37	3.98	6.21	66.25
2030	4.15	4.06	27.13	11.76	3.98	4.82	5.91	4.39	6.85	73.04
2035	4.57	4.48	29.94	12.96	4.38	5.31	6.52	4.83	7.55	80.54
2040	5.04	4.93	33.04	14.29	4.83	5.86	7.18	5.32	8.33	88.82
2045	5.55	5.44	36.46	15.76	5.32	6.47	7.92	5.86	9.19	97.96
2050	6.12	5.99	40.24	17.39	5.86	7.13	8.73	6.46	10.14	108.05

Tableau N°6-2 Les demandes en eau pour le secteur agricole et industrie de Blida

Année	Agriculture Blida 3	W	INDUSTRIE BLIDA 1	PI	Totale
2000	35.744		10	22.261	68.005
2005	36.103		10	22.485	68.588
2010	36.466		10	22.71	69.176
2015	36.832		10	22.938	69.77
2020	37.202		10	23.169	70.37
2025	37.575		10	23.401	70.976
2030	37.952		10	23.636	71.589
2035	38.333		10	23.874	72.207
2040	38.718		10	24.113	72.832
2045	39.107		10	24.355	73.462
2050	39.5		10	24.6	74.1
Totale	413.532		110	257.543	781.075

Tableau N°6-3 Tendance des débits des ressources en eau affectés pour les 9 communes de la wilaya de Blida en (Mm³) scénario RC4.5

Année	Consommation	Débit entrant venant de Nappe 2	Débit entrant venant de Nappe 3	Débit entrant venant de Nappe 4	Débit entrant venant de Nappe1	Débit vers Oued Bou Roumi	Débit vers Oued Chiffa	Débit vers Oued Djer	Débit vers Oued Mazafran	Débit vers STEP Beni Merad
2000	-5.14	10.38	16.54	1.77	5.58	-2.82	-14.71	-1.50	-5.58	-4.51
2005	-5.56	11.43	17.59	1.91	6.13	-3.10	-15.84	-1.62	-6.15	-4.79
2010	-6.01	12.60	18.67	2.06	6.74	-3.42	-17.05	-1.75	-6.77	-5.07
2015	-6.50	13.88	19.79	2.22	7.42	-3.76	-18.34	-1.89	-7.46	-5.36
2020	-7.02	15.30	20.93	2.40	8.16	-4.14	-19.71	-2.04	-8.22	-5.66

2025	-7.58	16.87	22.10	2.56	8.99	-4.56	-21.17	-2.18	-9.06	-5.97
2030	-8.18	18.60	23.29	2.72	9.90	-5.03	-22.72	-2.32	-9.99	-6.28
2035	-7.95	14.74	24.49	2.89	10.90	-5.54	-22.56	-2.46	-7.92	-6.60
2040	-8.24	18.21	25.71	3.07	7.97	-4.05	-23.36	-2.61	-9.78	-6.92
2045	-8.11	16.88	26.93	3.26	6.98	-3.55	-23.32	-2.77	-9.06	-7.24
2050	-7.82	16.39	26.12	3.17	6.48	-3.29	-22.53	-2.69	-8.80	-7.01
Sum	-78.11	165.29	242.15	28.04	85.24	-43.27	-221.29	-23.83	-88.79	-65.41

Tableau N°6-4 Tendence des débits des ressources en eau affectés pour les 9 communes de la wilaya de Blida en (Mm³) scénario RC8.5

	Consom mation	Débit entrant venant de Nappe 2	Débit entrant venant de Nappe 3	Débit entrant venant de Nappe 4	Débit entrant venant de Nappe 1	Débit vers Oued Bou Roumi	Débit vers Oued Chiffa	Débit vers Oued Djer n	Débit vers Oued Mazafr n	Débit vers STEP Beni Merad
2000	-5.14	10.38	16.54	1.77	5.58	-2.82	-14.71	-1.50	-5.58	-4.51
2005	-5.56	11.43	17.59	1.91	6.13	-3.10	-15.84	-1.62	-6.15	-4.79
2010	-6.01	12.60	18.67	2.06	6.74	-3.42	-17.05	-1.75	-6.77	-5.07
2015	-6.50	13.88	19.79	2.22	7.42	-3.76	-18.34	-1.89	-7.46	-5.36
2020	-5.68	13.57	13.70	2.40	8.16	-4.14	-14.98	-2.04	-7.29	-3.71
2025	-5.84	10.26	17.14	2.56	8.99	-4.56	-16.22	-2.18	-5.51	-4.63
2030	-5.39	10.46	17.81	2.50	5.14	-2.61	-15.36	-2.13	-5.62	-4.80
2035	-4.46	9.13	13.92	2.18	4.47	-2.27	-12.47	-1.85	-4.90	-3.75
2040	-3.73	7.32	10.99	2.15	4.41	-2.24	-10.19	-1.83	-3.93	-2.96
2045	-5.88	11.89	19.34	2.61	5.35	-2.72	-16.79	-2.22	-6.39	-5.20
2050	-5.69	11.72	18.09	2.67	5.45	-2.77	-16.05	-2.27	-6.29	-4.86
Sum	-59.86	122.63	183.58	25.03	67.83	-34.42	-168.00	-21.28	-65.89	-49.63

Tableau N°6-5 Evolution de la demande pour tous sites de la wilaya de Blida en (Mm³) scénario RC4.5

	Agricu lture W Blida 3	Beni Tamou d	Beni Mere d Blida	Bouf arik	Chiffa	Elafro un	INDU STRIE BLID A	Mou zaia	PI	Souma a	oued ei alleug	
2000	35.74	2.34	2.28	15.04	6.56	2.26	2.69	10.00	3.32	22.26	2.47	3.81
2005	36.10	2.57	2.51	16.59	7.23	2.48	2.96	10.00	3.65	22.49	2.72	4.20
2010	36.47	2.83	2.76	18.30	7.97	2.72	3.26	10.00	4.02	22.71	2.99	4.63
2015	36.83	3.11	3.04	20.19	8.78	2.99	3.60	10.00	4.43	22.94	3.29	5.11
2020	37.20	3.42	3.35	22.28	9.67	3.29	3.96	10.00	4.87	23.17	3.62	5.63

2025	37.58	3.77	3.69	24.58	10.6 6	3.62	4.37	10.00	5.37	23.4 0	3.98	6.21
2030	37.95	4.15	4.06	27.13	11.7 6	3.98	4.82	10.00	5.91	23.6 4	4.39	6.85
2035	38.33	4.57	4.48	29.94	12.9 6	4.38	5.31	10.00	6.52	23.8 7	4.83	7.55
2040	38.72	5.04	4.93	33.04	14.2 9	4.83	5.86	10.00	7.18	24.1 1	5.32	8.33
2045	39.11	5.55	5.44	36.46	15.7 6	5.32	6.47	10.00	7.92	24.3 6	5.86	9.19
2050	39.50	6.12	5.99	40.24	17.3 9	5.86	7.13	10.00	8.73	24.6 0	6.46	10.14

Wilaya de Tipaza :

Tableau N°6-6 évolution de la demande en eau pour les 8 communes de la wilaya de Tipasa scénario RC4.5

	Attatba	Bourkika	Chaiba	Hadjout	Hmer El ain	Koléa	SidiRached	Tipaza	Sum
2000	1.85	1.42	1.41	4.04	2.04	7.80	0.71	3.17	22.44
2005	2.03	1.56	1.54	4.43	2.23	8.60	0.78	3.38	24.54
2010	2.22	1.72	1.69	4.86	2.44	9.47	0.86	3.60	26.87
2015	2.44	1.90	1.85	5.34	2.67	10.44	0.94	3.85	29.44
2020	2.67	2.09	2.03	5.87	2.93	11.51	1.04	4.13	32.27
2025	2.93	2.30	2.23	6.46	3.22	12.69	1.15	4.43	35.40
2030	3.22	2.54	2.44	7.11	3.53	13.99	1.27	4.76	38.86
2035	3.54	2.80	2.68	7.82	3.88	15.43	1.40	5.13	42.67
2040	3.89	3.08	2.95	8.61	4.26	17.02	1.54	5.54	46.89
2045	4.28	3.40	3.24	9.47	4.68	18.77	1.70	6.00	51.54
2050	4.71	3.75	3.56	10.43	5.15	20.71	1.87	6.49	56.67

Tableau N°6-7 Agriculture de Tipasa:

	Agriculture W Tipaza 2	agriculture tipaza 1	SOMME
2000	16.51	19.56	36.07
2005	16.68	19.76	36.44
2010	16.85	19.96	36.80
2015	17.01	20.16	37.17
2020	17.19	20.36	37.54
2025	17.36	20.56	37.92
2030	17.53	20.77	38.30
2035	17.71	20.98	38.69
2040	17.89	21.19	39.07
2045	18.07	21.40	39.47
2050	18.25	21.62	39.86