

THÈSE

En vue de l'obtention du

Diplôme de Doctorat en Sciences

Présentée par : Mme SEDDIKI SARA

Intitulé
Gestion des ressources en eau dans la ville de Béchar à l'aide d'un système informatisé.

Faculté : *Faculté d'architecture et de génie civil*

Département : *Hydraulique*

Spécialité : *Hydraulique*

Option : *Hydraulique*

Soutenue le 11 /01/2022 devant le Jury Composé de :

Membres de Jury	Grade	Qualité	Domiciliation
YEBDRI Djilali	<i>Pr</i>	Président	USTO / MB
CHERIF EL-Amine	<i>Pr</i>	Encadrant	USTO / MB
M. SAAD Abdelamir Hamoudi	<i>Pr</i>	Examineur	Univ Chlef
Mr Kendouci Mohammed Amine	MCA	Examineur	Univ Bechar

Année Universitaire : 2021/2022

من المفترض أن يلبي قطاع المياه الاحتياجات الاجتماعية والبيئية والاقتصادية في مواجهة ندرة المياه المتزايدة التي تفاقت بسبب الانفجار السكاني والتحضر ، وسوء تخصيص الموارد ، والتدهور البيئي يتطلب إدارة عقلانية لموارد المياه ، وإدارة المياه معقدة تتطلب معرفة عالمية بالموارد. لذلك يجب أن يحل النهج المتكامل محل المقاربات القطاعية أو القطاعية الفرعية من خلال مراعاة الأهداف الاجتماعية والاقتصادية والبيئية وتقييم الموارد المائية في مدينة بشار.

تواجه ولاية بشار مشاكل مائية حادة. أدى الاستغلال المفرط للمياه السطحية والمياه الجوفية إلى تغييرات كبيرة في النظام الهيدرولوجي، ونوعية المياه الجوفية .

ستتيح دراستنا، من ناحية ، تحسين شروط التوازن المائي وسلسلة البيانات الحالية التي سيتم استخدامها لمحاكاة تخصيص المياه على مستوى الحوض باستخدام نظام الحاسوب ، ومن ناحية أخرى ، لاستخدامها كمياً في دراسات ميدانية أكثر تفصيلاً حول إدارة الموارد المائية في ولاية بشار.

تقع مدينة بشار في المناخ الجاف في الصحراء الجزائرية حيث يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي حوالي 72 ملم ، وهناك مصدران لضمان التزود بالمياه لمدينة بشار. الأول يأتي من المياه الجوفية المكونة من 8 آبار غير متجددة، والثاني يأتي من سد جورف توربة ، الذي يقع على بعد حوالي 45 كم غرباً.

يعتمد الضغط على الطلب على المياه في منطقة على عدة عوامل، وهي: ديموغرافية ، واجتماعية ، ومناخية ، واقتصادية. تستند هذه الدراسة إلى تطبيق أداة حاسوبية لتقييم المياه والتخطيط (WEAP) في مدينة بشار. هذا يسمح لنا بتحليل التوازن بين العرض والطلب في المياه ، وتقييم تأثير السيناريوهات المختلفة على منطقة الدراسة لإدارة الموارد المائية والطلب المتوقع على المياه في قطاعات مختلفة (مياه الشرب والمياه الصناعية والزراعة) حتى عام 2060..

الكلمات المفتاحية: الإدارة ، موارد المياه ، نموذج WEAP ، حوض ، بشار، سيناريوهات ، تغير المناخ.

ABSTRACT

The water sector is supposed to meet social, environmental and economic needs. Faced with the growing scarcity of water exacerbated by the demographic explosion and urbanization, the misallocation of resources, environmental degradation requires rational management of water resources, water management is complex requires global knowledge of resources. An integrated approach should therefore replace sectoral or sub-sectoral approaches by taking into account social, economic and environmental objectives and by evaluating water resources in the city of Bechar.

Bechar is facing acute water problems. The overexploitation of surface water and groundwater has led to major changes in the hydrological regime, the quality of groundwater and streams, and conflicts between uses and users. As resource mobilization increases, any additional intervention in the water cycle tends to generate impacts on ecosystems in the Wadi Bechar basin.

Our study will make it possible, on the one hand, to refine the terms of the water balance and the existing data series that will be used to simulate the allocation of water at the basin level using a computerized system and, on the other hand, to be used quantitatively for more detailed field studies on the management of water resources in Bechar city.

Bechar city located in arid climate of the Algerian Sahara, with an average annual rainfall of about 72 mm.

There are two sources to ensure the water supply of the town of Bechar; the first comes from a watershed made up of 8 non-renewable boreholes, and the second comes from the Djorf Torba dam, located about 45 km to the west.

The pressure on water demand in the highland region depends on many factors, namely: demographic, social, climatic and economic. This study is based on the application of a water evaluation and planning (WEAP) computer tool on the city of Bechar. Which allows us to analyze the supply-demand balance in the water, and assess the impact of different scenarios on the study area for manage the water resource and the projected water demand for the different sectors (drinking water, industrial water, and agriculture) until 2060.

KEYWORDS: Bechar, Water resources, management, water evaluation and planning (WEAP), different scenarios, climate change, watershed

RESUME

Le secteur de l'eau est censé subvenir à des besoins sociaux, environnementaux et économiques. Devant la pénurie croissante de l'eau exacerbée par l'explosion démographique et l'urbanisation, la mauvaise affectation des ressources, la dégradation de l'environnement nécessite une gestion rationnelle des ressources en eaux. La gestion de l'eau est complexe nécessite une connaissance globale des ressources. Une approche intégrée devrait donc se substituer aux approches sectorielles ou sous-sectorielles en prenant en compte les objectifs sociaux, économiques et environnementaux et en évaluant les ressources en eau dans la ville de Béchar.

La wilaya de Béchar est confrontée à des problèmes d'eau aigus. La surexploitation des eaux de surface et des eaux souterraines a entraîné d'importantes modifications dans le régime hydrologique, la qualité des eaux des nappes et des cours d'eau, et des conflits entre usages et usagers. Au fur et à mesure que la mobilisation de la ressource augmente, toute intervention supplémentaire sur le cycle de l'eau a tendance à générer des impacts sur les écosystèmes dans le bassin de l'oued Béchar.

Notre étude permettra d'une part d'affiner les termes du bilan hydrologique et des séries de données existantes qui seront utilisées pour simuler l'allocation de l'eau au niveau du bassin à l'aide d'un système informatisé et, d'autre part, de servir quantitativement à des études de terrain plus fines sur la gestion des ressources en eau de la wilaya de Béchar.

La ville de Béchar située dans le climat aride du Sahara algérien, avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 72 mm. Il existe deux sources pour assurer l'approvisionnement en eau de la ville de Béchar; le premier provient d'un bassin versant constitué de 8 forages non renouvelables, et le second provient du barrage de Djorf Torba, situé à environ 45 km à l'ouest.

La pression sur la demande en eau dans la région des hautes terres dépend de nombreux facteurs, à savoir: démographique, social, climatique et économique. Cette étude est basée sur l'application d'une évaluation et d'une planification de l'eau (WEAP) outil informatique sur la ville de Béchar. Ce qui nous permet d'analyser l'équilibre offre-demande dans l'eau, et d'évaluer l'impact de différents scénarios sur la zone d'étude pour la gestion de la ressource en eau et la demande en eau projetée pour les différents secteurs (eau potable, eau industrielle et agriculture) jusqu'en 2060.

MOTS CLÉS: Béchar, Ressources en eau, gestion, évaluation et planification de l'eau (WEAP), différents scénarios, changement climatique, bassin.

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance en
témoignage de ma profonde affection à :*

- Ma chère mère qui m'a protégé pendant toute ma vie, et qui a fait tout
pour que je devienne ce que je suis.*
- Mon père qui m'a tant aidé et encouragé.*
- Tous mes frères et sœurs.*
- Toute personne qui a contribué de près ou de loin à ma réussite.*

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pouvoir réaliser ce travail de recherche.

En premier lieu, j'exprime ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à mon Directeur de Thèse le Professeur Cherif ElAmine pour ses conseils et ses consultations qui m'ont aidé à la réalisation de ma thèse.

Je voudrais remercier aussi, le Professeur YABDI Djilali, d'avoir accepté de présider le Jury, je lui en est très reconnaissante.

Je remercie également le Professeur SAAD Abdelamir Hamoudi et le Docteur Kandouci Mohammed Amine d'avoir accepté d'examiner ce travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette thèse.

Je tiens à exprimer ma gratitude au Dr Kendosi Mohamed Amin, Dr Bendida Ali et Dr Bella Elham, pour m'avoir encouragé d'achever ma thèse de Doctorat, et aussi pour leur accueil chaleureux à chaque fois que j'ai demandé leur aide.

Enfin, au terme de cette recherche, il m'est très agréable d'exprimer toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes très vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

SARA SEDDIKI

Table Des Matières.

Résumé	I
Dédicace.....	IV
Remerciement	V
Liste des figures.....	X
Liste des tableaux.....	XIII
Liste des abréviations	XIV

Introduction General.....	1
---------------------------	---

Chapitre I : La Gestion Des Ressources En Eau

I.1 Introduction.....	4
I.2 La Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)	5
I.3 questions clés dans la gestion de l'eau.....	6
I.3.1 Garantir l'eau pour les populations	7
I.4 Principes de la Gestion des ressources en eau.....	7
I.4.1 Objectifs De La Gestion Intégrée Des Ressources En Eau.....	7
I.5 Concepts.....	8
I.6 utilisation de l'eau, impacts et avantages.....	9
I.6.1 Impacts.....	9
I.6.2 Avantages	10
I.6.3. Législation, Réglementation Et Règlements	10
I.7 Mise en œuvre de la gire	12
I.8 Au niveau gouvernemental.....	12
I.9 la gestion intégrée de l'eau par bassin versant.....	13
I.10. La législation relative à l'eau.....	15
I.10.1 Législation de gestion durable des ressources en eau.....	15
I.10.2 La politique de La gestion de l'eau en Algérie	16
I.11 Vue systémique de la stratégie nationale pour les ressources en eau.....	16
I.11 Dégradation De La Quantité Des Ressources En Eau.....	16
I.12 Gestion quantitative des ressources en eau	17
I.12.1 Evaluation des ressources en eau	17
I.13 Gestion qualitative des ressources en eau.....	18
I.13.1 La pollution des ressources en eau	18
I.14 Dégradation de la qualité des ressources en eau	19
I.15 Détermination des outils et des méthodes de gestion qualitative des ressources en eau.....	20
I.15.1 Définition des objectifs de qualité de l'eau	20
I.15.2 L'importance de la protection de la qualité des ressources en eau	20
I.16 Lutter contre la pollution de l'eau	21
I.17 L'information sur l'eau	22
I.18 Gestion de l'eau et prise de décision.....	23
I.19 Aspects institutionnels et réglementaires de la gestion de l'eau	24
1.19.1 L'ASPECT INSTITUTIONNEL : Le secteur de l'eau est composé de.....	24
1.19.1.1 L'Administration centrale (Ministère des Ressources en eau/MRE).....	24
1.19.1.2 L'Administration déconcentrée	24
1.19.1.3 Les établissements publics sous tutelle.....	24
1.19.2 L'ASPECTS REGLEMENTAIRES.....	24

1.19.2.1 Ministère des ressources en eau	24
1.19.2.3 Les établissements publics sous tutelle.....	25
1.19.2.4 Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).....	25
1.19.2.5 Les Agences de bassins hydrographiques (ABH).....	25
1.19.2.6 L'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT).....	26
1.19.2.7 L'Algérienne des eaux (ADE).....	26
1.19.2.8 L'Office national de l'assainissement (ONA).....	26
1.19.2.9 L'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID).....	26
I.20 Conclusion.....	27

Chapitre II : Les Modelés Hydrologiques Utiliser Dans La Gestion

II.1 Introduction.....	28
II.2 Analyse du bassin hydrographique	29
II.3 Systèmes d'informations géographiques (SIG)	30
II.4 Système d'aide à la décision (SAD).....	31
II.5 Contraintes technologiques.....	32
II.6 Contraintes liées aux données	33
II.7 Contraintes organisationnelles et humaines.....	33
II.8 Démarche Souhaitée Pour Faciliter L'utilisation Des Technologies Numériques Dans La Prise De Décision	33
II.9 Quelques modèles hydrologiques et de la gestion des ressources en eau.....	35
II.9.1 Le modèle SWAT.....	35
II.9.1.1 Présentation du Modèle.....	35
II.9.1.2 SWAT en SIG.....	36
II.9.1.3 Fonctionnement de SWAT.....	36
II.9.4 Equation hydrologique de SWAT.....	37
II.9.5 Données en entrée.....	38
II.9.6 Données en sortie.....	39
II.9.2 MIKE BASIN, modélisation de la gestion de la ressource en eau sous SIG.....	39
II.9.2.1 Domaine d'application.....	39
II.9.2.3 Qualité des eaux.....	44
II.9.3 STRATEAU.....	46
II.9.3.1 PORTRAIT DE STRATEAU.....	46
II.9.3.2 Comment fonctionne STRATEAU	46
II.9.3.3 Quelles compétences exige STRATEAU ?.....	46
II.9.3.4 L'EXCEPTION STRATEAU.....	47
II.9.3.5 Chaque utilisation augmente la performance.....	47
II.9.4 MULINO.....	47
II.9.6 Modèle River Basin Simulation (RIBASIM)	48
II.9.7 <i>MODELE HYD 2002</i>	49
II.9.7.1 Construction des systèmes d'eau	49
II.9.7.2 Simulation et/ou optimisation de la gestion opérationnelle.....	50
II.9.7.3 Evaluation des performances.....	50
II.9.8 Modèle waterware	50
II.9.9 Modèle WEAP	51
II.10 Conclusion	52

Chapitre III Présentation De L'outil Informatique De Gestion

III.1 Introduction.....	53
III.2 Acquisition Du Logiciel.....	54
III.3 L'approche WEA.....	54
III.4 Structure du Logiciel.....	56
III.5 Cartographie	56
III.6 Base de données.....	57
III.7 Présentation des résultats.....	58
III.8 Représentation graphique.....	60
III.9 Fonctionnement du modèle WEAP	61
III.9.1 Créer une zone d'étude	61
III.9.2 Créer les hypothèses clés et références	61
III.9.3 Hypothèses clés	61
III.9.4 Références	61
III.9.5 Proposer des Scénarios.....	61
III.10.1 Saisir les données.....	62
III.10.2 Présenter les résultats.....	62
III.11 Données nécessaires.....	63
III.12 Choix du modèle.....	65
III.13 Conclusion.....	66

Chapitre IV Présentation De La Zone D'étude

IV.1.1 Introduction.....	67
IV.2 Cadre administratif de la commune de Béchar.....	67
IV.3. Situation démographique.....	68
IV.4 . Situation agricole.....	68
IV.5 Le couvert végétal.....	68
IV.6La géologie de Wilaya de Bechar.....	69
IV.8 Situation Géographique	71
IV.8.1 Bassin de la Saoura	71
IV.8.2 Bassin de l'oued Guir	71
IV.8.3 Bassin de l'oued Zousfana	71
IV.8.4 Bassin de l'oued Béchar.....	72
IV.9 Réseau hydrographique.....	73
IV.10 Situation géographique de barrage djorf torba	76
IV.11Contexte climatologique.....	77
IV.11.1 Paramètres météorologiques déterminants.....	78
IV.11.1.1 Pluviométrie.....	79
IV.11.1.2 La température.....	81
IV.11.1.3 Le vent.....	82
IV.11.1.4 Evapotranspiration.....	83
IV.11.1.5 Humidité relative.....	84
IV.12 Contexte socio.economique.....	85
IV.12.1 Population.....	85
IV.8.2 Secteur agriculture	87
IV.13 Les ressources en eaux de la ville de Bechar.....	87
IV.14. Situation des rejets d'eaux usées de la ville de Béchar.....	88
IV.15 Conclusion.....	90

Chapitre V Application du Modèle WEAP a la Gestion des Ressources En Eau De La Ville De Bechar

V.1 Introduction.....	92
V .2 Configuration du modèle.....	93
V.2.1Calibrage du modèle.....	94
V.3 Matériels et méthodes.....	94
V.3.1 Zone d'étude.....	94
V.4 Ressources D'eau	96
V.4.1 Les Eaux De Surface	96
V.4.2 Eaux Souterraines.....	96
V.5 MÉTHODES.....	97
V.5.1 Modélisation par WEAP	97
V.6 Cartographie	99
V.6.1Création du modèle.....	99
V.7 Système de projection géographique adopté.....	99
V.8 Réglage Des Paramètres Généraux	100
V.8.1 Implantation des éléments nécessaires dans le modèle.....	101
V.8.2 Saisie des données.....	101
V.8.2 1Création des hypothèses clés	99
V.8.2.2 Saisie des éléments d’affichage cartographique.....	101
V.9 résultats et discussions.....	111
V.9.1 Scénario De Reference.....	111
V.9.1.1 Demande En Eau.....	111
V.9.1.2 Demande Non Satisfaite.....	114
V.9.2 Création du scénario « Méthode de l’année hydrologique »	115
V.9.3 Scénario de changement climatique.....	117
V.9.4 Scénario forte croissance de population et changement climatique.....	118
V.9.5 Scénario de retenue ajouté « augmentation de volume »	119
V.10 Possibilités d’amélioration du taux de recouvrement.....	121
V.12 Conclusion.....	122
Conclusion General	123
Bibliographie.....	126

Figure I-1 Concepts de la gestion des ressources en eau	8
Figure I.2 Localisation des grands bassins hydrographiques de l'Algérie	26
Figure II. 1 Etapes De L'établissement D'un Sad.....	31
Figure II. 2 Aperçus Du Modele Arcview Swat	37
Figure II.3 Concept MIKE BASIN.....	41
Figure II.4 Modélisation Des Eaux Souterraine.....	42
Figure II.5 Délimitation automatique de BV Modélisation hydrologique.....	43
Figure II.6 Modelisation NAM.....	43
Figure II.7 Concept NAM.....	44
Figure II.7 Interface Modèle HyD2002.....	50
Figure III.1 Organigramme Pluie-Débit Dans Le Modele WEAP.....	56
Figure III.2 Les Cinq Affichages Du Modèle WEAP.....	56
Figure III. 3 Fenêtre Cartographie WEAP.....	57
Figure III.4 Fenêtre Basse De Données	58
Figure III. 5 Fenêtre Schéma Synoptique Dans WEAP.....	60
Figure III. 6 Organigramme Du Fonctionnement Du Logiciel.....	62
Figure IV.1 Cadre administratif de La wilaya de Béchar.....	67
Figure IV.2 carte géologique de la région de bechar	69
Figure IV.3 carte géologique de bassin versant de bechar	72
Figure IV.4 Situation de Bassin versant d'oued Bechar.....	73

Figure IV.5 bassin versant de l'oued béchar.....	74
Figure IV.6 structure de reseau hydrographique et l'ordre des cours d'eau	76
Figure IV.7 Situation de barrage djorf torba	78
Figure. IV.8 Variations des précipitations annuelles en (mm).....	81
Figure. IV.9 Variation des précipitations moyennes mensuelles.....	81
Figure. IV.10 diagramme ombrothermique de la ville de bechar	83
Figure. IV .11 Variations des vitesses des vents et Evaporations moyennes mensuelles dans la Ville de Béchar pendant la période (1985-2014)	84
Figure. IV.12 Variation mensuelle de l'évaporation période 2014.....	85
Figure. IV.13 Courbe des humidités relatives moyennes mensuelles en % de Béchar (2003-2014).....	86
Figure V.1 : Situation géographique du bassin versant de l'oued Bechar.....	95
Figure V.2 climat mensuel à Béchar 2014	93
Figure V.3 Carte du Monde.....	99
Figure V.4 Présentation du modèle WEAP.....	100
Figure V.5 Paramètres de temps et d'unités.....	100
Figure V.6 Données relatives à la population d'un site de demande.....	102
Figure V.7 Evolution de nombre d'habitant de scénario de référence 2015-2060.....	103
Figure V.8 niveau d'activité du périmètre	104
Figure V.9 présentation des données relatives au barrage Djorf Torba.....	105
Figure V.10 courbe volume en fonction d'hauteur	106
Figure V.11 Evaporation nette au niveau du barrage.....	107

Figure V.12 prélèvement de la nappe	108
Figure V.13 : précipitation de l'année actuel 2014	108
Figure V.14 Température de l'année actuel 2014	109
Figure V.15 l'Humidité de l'année actuel 2014.....	109
Figure V.16 le vent de l'année actuel 2014.....	110
Figure V.17 Evolution du nombre d'habitants dans le scénario de référence	111
Figure V.18 Evolution de la demande en eau de la ville de Béchar	112
Figure V.19 Evolution de la demande mensuelle en eau de la ville de Béchar – scénario de référence	113
Figure V.20 Évolution de la demande en eau dans la ville de Béchar – référence /forte croissance de la population	114
Figure V.21 Évolution de la demande en eau non satisfaite dans la ville de Béchar.....	115
Figure V.22 Fenêtre « Méthode de l'année hydrologique ».....	116
Figure V.23 Fenêtre « Méthode de l'année hydrologique » avec la séquence des types d'année.....	117
Figure V.24 demande en Eau non satisfait pour les scénarios.....	117
Figure V.25 la demande en eau du la ville de de Bechar dans les scénarios 2014-2060 « Reference, changement climatique ».....	118
Figure V.26 demande en Eau pour les scénarios« Reference, forte croissance de population et changement climatique ».....	118
Figure V.27 Évolution de la demande en eau non satisfaite dans la ville de Béchar pour les scénarios « Reference, forte croissance de population et changement climatique».....	119
Figure V.28 Taux de recouvrement les scénarios de la ville de bechar pour les scénarios « Reference, Scenario de retenue ajouté « augmentation de volume » pour l'année 2060.....	120

Tableau I.1 impacts des secteurs d'utilisation de l'eau sur les ressources en eau.....	10
Tableau I.2 Définition des exigences du plan national de l'eau.....	17
Tableau I.3 Tâches-clés pour la construction d'un système d'aide à la décision.....	23
Tableau. IV.1 Répartition hypsométrique du bassin versant de Bechar.....	74
Tableau IV.2. Caractéristiques de la station climatique.....	79
Tableau IV.3 Pluviométrie annuelles à la station de Béchar série (2003/2014).....	80
Tableau IV.4. Précipitation mensuelle moyenne à la station de Béchar (2003-2014).....	81
Tableau IV.5 Variation annuelle de la température de la région de Bechar(2000-2016).....	82
Tableau IV.6 Températures moyennes mensuelles et annuelles (min, max, moy 2014).....	82
Tableau IV.7 Variations mensuelles de vitesse des vents (2000-2014).....	83
Tableau IV.8. Les moyennes mensuelles de l'évaporation.....	84
Tableau IV.9 Les humidités relatives moyennes mensuelles de Bechar	85
Tableau IV.10 Projection de la population de la ville de BECHAR.....	86
Tableau IV.11 Potentialités Hydriques Pour L'AEP 2014.....	87
Tableau IV.12 ressources en eau de la ville de Béchar en 2014.....	87
Tableau IV.13 Volume consommée par mois en HM ³	87
Tableau IV.14 répartition de production d'eau en 2014.....	87
Tableau IV.15 Rejets Eaux Usées 2014.....	88
Tableau IV.16 Répartition Des Terres Agricoles 2014	88
Tableau IV.17 Débit des forages destinés à l'irrigation d'agriculteur à Bechar EN 2014.....	88
Tableau V.1 nombre de population en 2014.....	102

Liste des tableaux

Tableau V.2 répartition des terres agricoles en 2014	103
Tableau V.3 caractéristique hydrologique de barrage djorf torba	105
Tableau V.4 volume et hauteur de barrage djorf torba	106
Tableau V.5 Définitions des types de climats.....	116

ABH : Agences de Bassins Hydrographiques.
ABHS : Agences de Bassins Hydrographiques sahara.
ADE : Algérienne des Eaux.
AGIRE : Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau.
ANBT : Agences Nationale des barrages et transferts.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
DSA : Direction des Services Agricoles.
DRE : Direction de ressource en eau
DPSB : Direction de planification et suivi du budget.
ETP : Evapotranspiration potentielle
FAO: Food and Agriculture Organization.
GIRE : Gestion intégrée des ressources en eau
GPI : Grands Périmètres Irrigués
GWP : Global Water Partnership
Kc : indice de compacité de graveleuse
MODFLOW : modèle d'eaux souterraines.
MRE : Ministère ressource en eau.
ONA : Office Nationale d'assainissement.
ONID: Office National d'irrigation et drainage.
ONM : Office National de la Météorologie.
ONS : Office National des Statistiques.
PNE : Plan National de l'Eau.
RFU : Réserve facilement utilisable
SAU : Surface Agricole Utile
SEI : Stockholm Environment Institute.
SIG : Système d'information géographique.
SWAT: Soil and Water Assessment Tool.
TH : Turbidité
WEAP: Water Evaluation And Planing system.
WGS84 : World Geodetic System 1984

INTRODUCTION GENERAL



INTRODUCTION GENERAL

La pénurie de l'eau dans le monde, et la gestion des ressources en eau constituent l'un des problèmes les plus cruciaux du 21ème siècle. Les changements climatiques et la sécheresse qui sévissent depuis plusieurs décennies dans différentes régions du monde, ont touché particulièrement les pays d'Afrique du Nord, d'Afrique Subsaharienne, et ont eu un impact négatif sur les ressources en eau de ces pays. Cette sécheresse, qui risque de s'accroître durant le siècle à venir, pourrait entraîner dans ces pays une véritable crise de l'eau.

La situation actuelle en Algérie, se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles. La croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux dernières décennies, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole.

Les régions les plus concernées par la question de rareté de l'eau sont les domaines arides et semi-arides, et tout particulièrement ceux soumis à une forte croissance démographique. Cependant, l'agrégation de la problématique de la gestion des ressources en eau à l'échelle nationale ou régionale ne prend pas en compte la variabilité de la disponibilité en eau dans l'espace, variabilité qui peut, par conséquent, cacher des problèmes localisés. « Une gestion durable des ressources en eau c'est aussi une gestion des risques liés à l'eau ».(Dali,2018).

Les besoins exprimés par les différents utilisateurs sont nettement supérieurs aux ressources en eau mobilisées, ce qui engendre des conflits d'affectation, et nécessite parfois des arbitrages difficiles.

En outre, les pollutions des nappes et des ressources superficielles par les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités de traitement des systèmes d'épuration. Ces dégradations réduisent les volumes d'eau susceptibles d'être réutilisés.

En l'Algérie, la loi N° 95- 418 du 11 décembre 1995, complétée par la loi N° 05-12 du 04 août 2005 relative à l'eau, instaure une gestion par unité hydrologique, respectant une approche intégrée de la ressource hydrique. Cette approche intégrée prend en compte les différentes dimensions de la ressource (qualité, quantité, usages, milieux...) et les interactions entre eux. Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, dont le principe est défini dans cette loi, associent dans une même structure de concertation : les représentants de l'Etat, les élus locaux et les usagers. Cette structure permet, à l'échelle de bassins versants ou de

nappes souterraines régionales, une gestion concertée des usages de l'eau et une protection des milieux aquatiques qui garantissent la qualité de la ressource en eau.

Mais, une ressource en eau et ses usages constituent un système complexe : un ensemble de nombreuses variables liées par des interactions. Le comportement de ce système ne peut pas être compris facilement : l'emploi de la modélisation permet d'améliorer sa compréhension et de simuler des prises de décision (Khodja, 2020).

Dans ce contexte, on comprend alors la nécessité de mettre au point des outils et des instruments d'aide à la gestion et à la décision qui permettent de mieux cerner le fonctionnement des hydro-systèmes naturels et le devenir de l'eau dans son environnement.

Le modèle WEAP est un outil de planification d'exploitation des ressources en eau créé par le Stockholm Environment Institute (SEI). Grâce à son découpage en deux modèles, modèles hydrologique et modèle de planification, il permet d'établir une relation entre les ressources en eau et leurs exploitations selon les différents usages. Le modèle a été développé pour prévoir l'impact l'évolution de plusieurs paramètres liés à l'eau à titre d'exemple : la demande en eau, la demande non satisfaite, recouvrement, etc. Sa mise en œuvre nécessite une importante base de données : la série des données météorologique, des débits de têtes des rivières, courbes volume altitude des retenues.

C'est pour cette raison qu'il nous semble important de développer une vision prospective de l'utilisation des ressources en eau en proposant des plans pour optimiser l'utilisation des ressources disponibles et combler les déficits futurs qui affecteront le bassin de la rivière Béchar.

Pour ceci, une modélisation hydrologique des changements de structures et des paramètres des systèmes hydrauliques est adoptée par le biais du modèle WEAP (Water Evaluation and Planning System) pour remédier aux problèmes d'approvisionnement et de la demande en eau sur des horizons de planification à long terme sur la ville de Bechar, selon les projections de l'augmentation des besoins et fournir un modèle intégré de la planification des ressources hydrauliques (Khelfaoui F., 2014).

Les différentes étapes de ce travail de thèse sont réparties en cinq chapitres suivants :

Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique sur la gestion des ressources en eau où un aperçu général sur la gestion des ressources en eau est présenté ainsi que le secteur de l'eau en Algérie.

Dans le second chapitre, une analyse globale sur les différents modèles hydrologiques utilisés dans la gestion des ressources en eau est effectuée.

Le troisième chapitre, concerne la présentation du modèle de gestion choisie pour son utilisation dans notre étude : « le modèle WEAP ».

Le quatrième chapitre décrit un aperçu général de la zone d'étude par sa situation géographique, sa géomorphologie et sa géologie ainsi que les conditions climatologiques relatives aux stations météorologiques évoquées dans la région d'étude.

Dans le Cinquième chapitre, une application du modèle WEAP est effectuée sur la zone d'étude qui demande une compréhension globale de la zone concernée. Aussi dans ce chapitre, il est traité la demande en eau actuelle de la population et sa consommation d'eau ainsi que les pertes dans les processus de production de la distribution de l'eau potable de la ville de Bechar, suivi par la configuration du modèle pour la mise en place d'un système d'aide à la décision pour la gestion intégrée des ressources en eau de la région d'étude. Différents scénarios sont proposés pour déterminer les mesures qui permettent d'arriver à une situation d'équilibre hydrique en 2060.

Enfin, on conclut par le choix du bon scénario et par les perspectives d'amélioration de la gestion des ressources en eau.

CHAPITRE I : *LA GESTION DES
RESSOURCES EN EAU.*

Chapitre I *La Gestion Des Ressources En Eau.*

I.1 Introduction

La Gestion des Ressources en Eau est un processus de planification et de mise en œuvre, basé sur une science solide qui apporte parties prenantes pour déterminer comment répondre aux besoins à long terme de la société pour l'eau et les ressources côtières tout en maintenant les éléments écologiques essentiels services et avantages économiques. La GIRE aide à protéger les l'environnement, favoriser la croissance économique et l'agriculture durable développement, promouvoir la participation démocratique à la gouvernance et améliorer la santé humaine.

Gestion veut dire que toutes les différentes utilisations des ressources en eau sont prises en compte ensemble. Les attributions et les décisions de gestion de l'eau prennent en compte les effets de chaque utilisation sur les autres. Elles sont en mesure de tenir compte des objectifs sociaux et économiques globaux, y compris la réalisation du développement durable. Ceci signifie également assurer une prise de décision politique logique liée à tous les secteurs. Car nous le verrons, le concept de la gestion de base a été élargi pour incorporer la prise de décision participative. Différents groupes d'utilisateurs (paysans, communautés, écologistes ...) peuvent influencer les stratégies de gestion et de mise en valeur des ressources en eau.

La Gestion est employée dans son sens le plus large. Elle souligne que nous devons non seulement nous concentrer sur la mise en valeur des ressources en eau mais que nous devons gérer consciemment la mise en valeur de l'eau de manière à assurer son utilisation durable à long terme pour les générations futures.

Au plus simple, la gestion intégrée des ressources en eau est un concept logique et séduisant. Sa base est que les nombreuses différentes utilisations des ressources en eau sont interdépendantes. Ceci est évident pour nous tous. De fortes demandes en irrigation et des flots de drainage fortement pollués signifient moins d'eau douce pour la boisson ou pour l'utilisation industrielle; les eaux usées municipales et industrielles contaminées polluent les fleuves et menacent les écosystèmes; si on doit laisser de l'eau dans un fleuve pour protéger la pêche et les écosystèmes, on pourra en prélever moins pour la production agricole. Il y a une abondance d'exemples par rapport à ce thème de base pour soutenir que l'utilisation non régulée des ressources en eau rares est un gâchis et en soi non durable (GWP, 2005).

I.2 La Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)

L'eau est vitale à la survie, à la santé et à la dignité humaines et elle est une ressource fondamentale au développement humain. Les ressources en eau douce du monde sont sous pression croissante, déjà de nombreuses personnes manquent encore d'accès adéquat à l'approvisionnement en eau pour leurs besoins de base. La croissance de la population, une activité économique en plein essor et des niveaux de vie améliorés mènent à une concurrence accrue et à des conflits pour une ressource en eau douce limitée. Voici quelques raisons pour lesquelles beaucoup de gens pensent que le monde fait face à une crise imminente de l'eau :

- Les ressources en eau sont sous la pression croissante de la croissance démographique, de l'activité économique et de la concurrence grandissante pour l'eau entre les différents utilisateurs;
- Les extractions d'eau ont augmenté à un rythme deux fois plus rapide que celui de la croissance de la population et actuellement un tiers de la population du monde vit dans des pays qui éprouvent un stress allant de moyen et élevé de l'eau;
- La pollution augmente davantage la pénurie de l'eau en réduisant l'utilité de l'eau en aval;
- Des imperfections dans la gestion de l'eau, une concentration sur la mise en valeur de nouvelles sources plutôt que de mieux gérer celles qui existent, et des approches sectorielles de gestion de l'eau du sommet à la base aboutissent en une mise en valeur et une gestion non coordonnées de la ressource ;
- Une plus grande mise en valeur signifie de plus grands impacts sur l'environnement ;
- Les préoccupations actuelles relatives à la variabilité du climat et au changement climatique exigent une gestion améliorée des ressources en eau pour faire face à des inondations et à des sécheresses plus intenses (GWP, 2005).

Le mot « intégration » a souvent eu des connotations et des interprétations très différentes en fonction du ou des auteurs et institutions concernés, et de leurs intérêts. En fonction de le(s) auteur(s) et/ou institutions, la gestion intégrée des ressources en eau nécessite l'intégration de:

- des objectifs qui ne s'excluent pas mutuellement (efficacité économique, redistribution des revenus, qualité de l'environnement et bien-être social) ;
- l'approvisionnement en eau et la demande en eau ;
- eaux de surface et eaux souterraines ;

-
- quantité et qualité de l'eau ;
 - les questions liées à l'eau et à la terre ;
 - différents types d'usages de l'eau : domestique, industriel, agricole, de navigation, production récréative, environnementale et hydroélectrique;
 - rivières, aquifères, estuaires et eaux côtières ;
 - l'eau, l'environnement et les écosystèmes ;
 - approvisionnement en eau et collecte, traitement et évacuation des eaux usées;
 - les problèmes d'eau en milieu urbain et rural ;
 - irrigation et drainage ;
 - eau et santé ;
 - projets et programmes macro, méso et micro eau ;
 - les institutions liées à l'eau aux niveaux national, régional, municipal et local ;
 - secteurs public et privé

Selon Global Water Partnership (2000), la GIRE est définie comme « un processus, qui favorise le développement et la gestion coordonnés des eaux, la terre et les ressources, afin de maximiser le résultat, le bien-être économique et social de manière équitable sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux » (GWP, 2000).

Certains des principaux composants de la GIRE sont :

- Gestion des ressources en eau à l'échelle du bassin ou du bassin versant.
Celle inclut l'intégration de la terre et de l'eau, en amont et en aval, les eaux souterraines telles que les bassins aquifères ouest et est, les eaux de surface l'eau et les ressources côtières.
- Optimisation de l'approvisionnement. Il s'agit de procéder à des évaluations de approvisionnements en eaux de surface et souterraines, analyse des bilans hydriques et évaluer les impacts environnementaux des options de distribution et d'utilisation.
- Gestion de la demande. Cela comprend l'adoption de politiques de recouvrement des coûts, en utilisant des technologies économes en eau et en établissant des autorités de gestion de l'eau (Reben ,2007)..

I.3 Questions clés dans la gestion 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. 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 aggrave la concurrence accrue pour une ressource finie. La GIRE apporte une coordination et une collaboration parmi les différents secteurs, en plus d'une stimulation à la participation des parties prenantes, la transparence et une gestion locale rentable (GWP, 2005).

I.3.1 Garantie de 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. 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.. 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 (GWP, 2005).

I.4 Principes de la Gestion des ressources en eau

Consiste à relever des défis pour répondre à chacun des principes suivants :

Principe 1 : L'eau douce est une ressource finie et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement. Par rapport à ce principe, la GIRE rend nécessaire la coordination de la gamme d'activités humaines qui créent des besoins en eau, déterminent les utilisations foncières et génèrent des produits de déchets connexes à l'eau.

Principe 2 : La mise en valeur et gestion de l'eau devrait se baser sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux. L'approche participative est le meilleur moyen pour réaliser un consensus et un accord durable et commun. La décentralisation de la prise de décision au plus bas niveau approprié est une stratégie pour une plus grande participation. La participation concerne la prise de responsabilités, l'identification de l'effet des actions sectorielles sur les autres utilisateurs de l'eau et les écosystèmes aquatiques et l'acceptation de la nécessité du changement pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour permettre le développement durable de la ressource. Les gouvernements doivent aider à créer l'opportunité et la capacité de participer, en particulier parmi les femmes et les autres groupes sociaux marginalisés.

Principe 3 : Les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la sauvegarde de l'eau. La GIRE exige une conscience du « Genre » en développant la participation entière et efficace des femmes à tous les niveaux de la prise de décision. Faire participer

ensemble les hommes et les femmes dans les rôles influents à tous les niveaux de la gestion de l'eau peut accélérer la réalisation de sa pérennité et permettre une gestion de l'eau de manière intégrée et durable.

Principe 4 : L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue aussi bien comme bien économique que bien social. Dans ce principe, la valeur de l'eau, reconnue importante relativement à son allocation comme ressource rare, est obtenue par des moyens de régulation ou des moyens économiques. L'eau a une valeur en tant que bien économique de même que bien social. Il est essentiel de reconnaître d'abord le droit fondamental de tous les êtres humains à avoir accès à l'eau potable et à l'assainissement à un prix accessible. La facture de l'eau s'applique pour soutenir les groupes désavantagés, affecter le comportement envers la conservation et l'utilisation efficace de l'eau, offrir des incitations pour la gestion de la demande et assurer un recouvrement des coûts.

I.5 Concepts de la gestion

L'objectif principal de la gestion des ressources en eau repose sur les concepts de l'équité sociale, l'efficacité économique et la durabilité écologique (figure I.1).

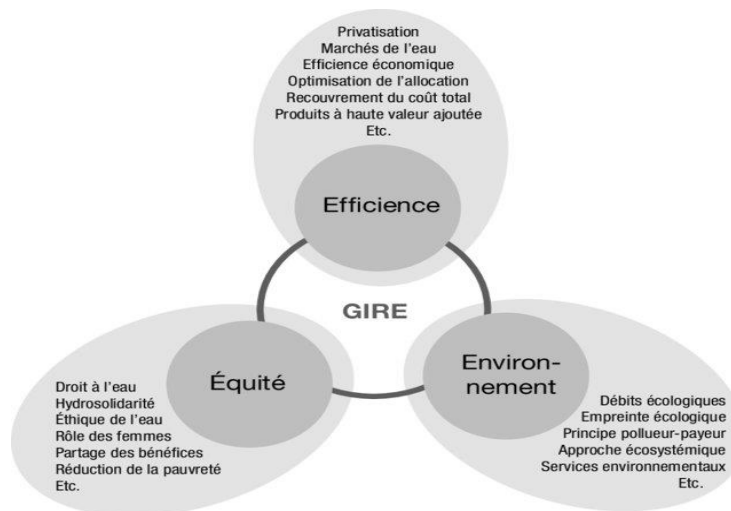


Figure I.1 : Concepts de la gestion des ressources en eau (francois, 2012)

Les trois « piliers » représentent des valeurs sociétales et collectives distinctes.

1. Équité sociale : Le concept de l'équité sociale concerne les conséquences de décisions et d'actions auxquelles différents usagers de l'eau font face. L'accent est mis particulièrement sur l'équité en ce qui concerne l'accès et l'usage des ressources en eau et les bénéfices dérivés pour tous les groupes sociaux, indépendamment de leur statut économique, emplacement

géographique et des caractéristiques individuelles de leurs membres, telles que les différences de sexe, âge, état de santé ou niveau de revenus (Davy, 2009).

2. Efficacité économique : L'efficacité économique traduit le besoin d'utiliser de la façon la plus économique possible les ressources en eau pour maximiser les retours sur la valeur et ainsi atteindre le plus grand bénéfice pour le plus grand nombre de personnes. Cette valeur ne se calcule pas seulement en prix ; elle doit aussi comprendre les coûts et bénéfices sociaux et environnementaux actuels et futurs (Davy, 2009).

3. Durabilité écologique : La durabilité écologique reconnaît l'environnement comme usage à part entière et exige de maintenir les services fournis par les écosystèmes. Par conséquent, il ne faut pas réduire les ressources en eau au-delà de tout espoir de réapprovisionnement par procédés naturels ou intervention humaine. Ceci s'applique à la génération actuelle mais aussi à celles qui vont suivre. (Davy, 2009)

I.6 Utilisation de l'eau, impacts et avantages

I.6.1 Impacts

La plupart des utilisations de l'eau apportent des avantages à la société mais elles ont également des impacts négatifs qui peuvent empirer grâce à 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. Chaque pays a ses objectifs de développement et ses objectifs économiques prioritaires fixés selon des réalités environnementales, sociales et politiques. Des problèmes et les contraintes surgissent dans chaque domaine d'utilisation de l'eau, mais la volonté et la capacité de traiter ces questions de manière coordonnée est affectée par la structure de gouvernance de l'eau. L'identification de la nature interdépendante des différentes sources d'eau et, par conséquent, de la nature interdépendante des différents impacts et utilisations de l'eau constitue une étape importante dans l'introduction de la gestion des ressources en eau. (GWP, 2005).

Tableau I.1 Impacts des secteurs d'utilisation de l'eau sur les ressources en eau (GWP, 2005).

	Impacts positifs	Impacts négatifs
• Environnement	• Purification • Stockage • Cycle hydrologique	
• Agriculture	• Retour des Flots • Infiltration accrue • Érosion diminuée • Recharge des eaux souterraines • Réutilisation nutritive	• Épuisement • Pollution • Salinisation • Exploitation de l'eau • Érosion
• Approvisionnement en Eau & Assainissement	• Réutilisation nutritive	• Niveau élevé de sécurité de l'eau exigé • Pollution des eaux de surface et des eaux souterraines

I.6.2 Avantages

1- Avantages environnementaux

- Les écosystèmes peuvent profiter de l'application de l'approche intégrée de la gestion de l'eau en donnant une voix aux besoins environnementaux dans le débat sur l'allocation de l'eau. A présent ces besoins ne sont pas toujours représentés à la table de négociation.
- La GIRE peut aider le secteur en sensibilisant les autres utilisateurs sur les besoins des écosystèmes et les avantages que ceux-ci génèrent pour eux. Souvent ceux-ci sont sous estimés et ne sont pas incorporés dans la planification et la prise de décision.
- L'approche écosystème offre un nouveau cadre à la gestion des ressources en eau pour concentrer plus d'attention sur une approche système à la gestion de l'eau : - protection des hauts bassins (par exemple, le reboisement, l'élevage, la lutte contre l'érosion du sol), la lutte contre la pollution (par exemple, la réduction des sources et les motivations en cas d'absence de sources de pollution, la protection de la nappe phréatique) et les flux environnementaux. Elle offre une solution de recharge à la perspective de compétition intersectorielle qui peut associer les parties prenantes dans l'élaboration d'une nouvelle vision partagée et d'une action commune (GWP, 2005).

2- Avantages agricoles

- En tant qu'utilisateur unique de l'eau et principal pollueur de la source principale des ressources en eau souterraine et de surface, l'agriculture a une piètre image. Ajoutée à la mauvaise performance en termes de production agricole, cela signifie que fréquemment, en particulier dans des conditions de pénurie d'eau, l'eau est détournée de l'agriculture vers d'autres utilisations. Cependant, une réduction indiscriminée dans l'allocation de l'eau pour l'agriculture pourrait avoir des conséquences économiques et sociales unimaginables. Avec la GIRE, on encourage les planificateurs à aller au-delà de l'économie du secteur et de prendre en compte les implications des décisions de gestion de l'eau sur l'emploi, l'environnement et l'équité sociale (GWP, 2005).
- En rassemblant toutes les parties prenantes et tous les secteurs dans le processus de prise de décision, la GIRE peut refléter la "valeur" combinée de l'eau à la société dans son ensemble au moment des décisions difficiles sur les allocations de l'eau. Ceci peut signifier que la contribution à la production alimentaire à la santé, à la réduction de la pauvreté et à l'équité Genre, par exemple, pourrait dépasser les comparaisons économiques strictes de taux de rendement sur chaque mètre cube d'eau. Egalement, la GIRE peut mettre en équation le potentiel de réutilisation des eaux usées d'irrigation pour les autres secteurs et la portée de la réutilisation agricole des eaux usées municipales et industrielles.
- La GIRE invite à une planification intégrée afin d'utiliser la terre, l'eau et autres ressources de manière durable. Pour le secteur agricole, la GIRE cherche à accroître la productivité de l'eau (c'est à dire plus de grains par goutte d'eau) dans les contraintes imposées par le contexte économique et social d'une région ou d'un pays donné.

3- Avantages de l'approvisionnement en eau et l'assainissement :

- Surtout, une GIRE convenablement appliquée aboutirait à la garantie de la sécurité de l'eau pour des pauvres du monde et les personnes non desservies. La mise en œuvre de la GIRE basée sur des politiques devrait signifier une sécurité accrue des approvisionnements en eau domestiques, de même qu'une réduction des coûts de traitement pendant que la pollution est abordée plus efficacement.
- La reconnaissance des droits des populations et en particulier des femmes et des pauvres, à un partage équitable des ressources en eau tant pour les utilisations domestiques que pour les utilisations à des fins de production au niveau du ménage,

aboutit inévitablement à la nécessité d'assurer une représentation correcte de ces groupes dans les instances qui s'occupent de l'allocation des ressources en eau.

- La focalisation sur la gestion intégrée et l'utilisation efficace devrait être un stimulant pour le secteur en vue de pousser à une réutilisation, un recyclage et une réduction des déchets. Des fortes taxes de pollution renforcées par une mise en vigueur rigide ont donné des améliorations considérables dans les efficacités d'utilisation industrielle de l'eau dans les pays développés avec les avantages des approvisionnements en eau domestiques et l'environnement.
- Les systèmes d'assainissement passés se sont souvent concentrés sur l'élimination du problème des déchets des zones d'occupation humaine gardant ainsi les territoires humains propres et sains, mais en déplaçant simplement le problème des déchets, avec souvent des effets environnementaux catastrophiques ailleurs. L'introduction de la GIRE améliorera l'opportunité de l'introduction de solutions d'assainissement durables qui visent à minimiser les sources de production de déchets, et la réduction des effets directs des déchets et à résoudre aussi les problèmes d'assainissement le plus près possible de l'endroit où cela se passe.
- Pratiquement à un niveau local, l'intégration améliorée de la gestion des ressources en eau pourrait aboutir à des coûts considérablement réduits de prestation de services domestiques d'eau, si par exemple plus d'ouvrages d'irrigation étaient conçus avec une composante de l'eau domestique explicitement impliquée dès le début (GWP, 2005).

I.7 Mise en œuvre de la GIRE

Le cas de la GIRE est prépondérant – beaucoup diraient incontestable. Le problème pour la plupart des pays est la longue histoire de développement sectoriel. Comme le dit le Partenariat Mondial de l'Eau : “La GIRE est un défi aux pratiques, aux attitudes et aux certitudes conventionnelles professionnelles. Elle confronte les intérêts sectoriels ancrés et elle exige que la ressource en eau soit gérée de manière holistique pour les avantages de tous. Nul ne pourra prétendre que relever le défi de la GIRE sera facile mais il est essentiel qu'un début soit amorcé maintenant pour éviter la crise bourgeonnante.”

La GIRE est, surtout, une philosophie. Comme tel elle offre un cadre conceptuel de gouverne dans le but d'une gestion et une mise en valeur, durable des ressources en eau. Ce qu'elle exige c'est que les gens essayent de changer leurs méthodes de travail, de regarder le tableau plus grand qui entoure leurs actions et de se rendre compte que celles-ci ne se produisent

pas indépendamment des actions des autres. Elle cherche également à introduire un élément de démocratie décentralisée dans la façon dont l'eau est gérée, avec une insistance sur la participation des parties prenantes et la prise de décision au niveau inférieur le plus approprié.

I.8 Au niveau gouvernemental

Le point de départ de la mise en œuvre de la GIRE est la définition des différentes parties prenantes et leurs rôles. Il s'agit donc d'une plateforme où sont reconnus tous les acteurs en relation avec les ressources en eau conformément aux étapes suivantes :

- Intégration verticale des acteurs de l'eau pour cibler les niveaux hiérarchiques, et horizontale de façon à réunir les ministères des finances, de la planification, de l'agriculture, du transport et de l'énergie, de la santé et de l'environnement.
- Création d'instruments de coordination tels que les comités interministériels et conseils des ministres en cas de situation conflictuelle en termes de consommation domestique, irrigation, protection de l'environnement, hydro-électricité, loisirs, pollution et modification des débits.
- Création de plateformes intersectorielles en amont-aval pour la définition des priorités et la planification du bassin.

I.9 La gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La gestion intégrée est un mode de gestion cherchant à inclure les intérêts, les ressources et les contraintes de l'ensemble des acteurs qui interviennent dans un même domaine et dans un même milieu. Cela permet d'éviter que chacun ne considère que ses propres préoccupations et responsabilités lors de la prise de décisions.

La gestion intégrée de l'eau tient donc compte de l'ensemble des usages et usagers qui ont un impact sur la ressource eau. Elle permet d'avoir une vision globale et de connaître les effets cumulatifs des activités sur la ressource eau et sur les divers usages de l'eau. Lorsque les utilisations de l'eau et les activités qui touchent l'eau sont considérées de façon isolée, l'effet sur la ressource peut sembler négligeable. Cependant, lorsqu'elles sont considérées ensemble, l'impact peut être majeur.

Ainsi, la gestion intégrée de l'eau par bassin versant (GIEBV) est un mode de gestion considérant l'ensemble des activités ayant un impact sur la ressource eau à l'intérieur

d'un bassin versant (territoire naturel d'écoulement des eaux). Elle permet de prendre en compte la capacité du bassin versant à supporter les divers usages de l'eau et d'obtenir une vision globale afin de préserver la ressource et les usages de l'eau pour les générations futures.

1. Avantages

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant a de nombreux avantages :

- Rassembler les usagers et acteurs de la ressource eau œuvrant dans un même bassin versant pour qu'ils se concertent sur les usages à privilégier et les actions à entreprendre.
- Utiliser judicieusement des fonds publics et privés en favorisant une coordination plus efficace des actions entreprises par les divers intervenants du territoire.
- Concilier des usages parfois conflictuels entre la préservation des écosystèmes et les activités de développement économique.
- Mettre en valeur la ressource eau sur les plans environnemental, social et économique.
- Adopter une vision commune pour les années futures.
- Favoriser la participation du public dans le processus de prise de décision.
- Faire appel au leadership des acteurs locaux.

2. Pourquoi utiliser la gestion intégrée de l'eau par bassin versant?

- Pour préserver la qualité et la quantité des ressources en eau, la gestion sectorielle s'est avérée inefficace, car plusieurs cours d'eau connaissent maintenant d'importants problèmes de pollution ou de conflits d'usage.
- Comme elles ne tiennent pas compte de l'ensemble du territoire naturel d'écoulement des eaux, les limites administratives ne sont pas le territoire approprié pour gérer l'eau.
- La prise de décision sans concertation entre les acteurs entraîne parfois des conflits quant aux objectifs à atteindre et aux actions à privilégier.
- Actuellement, chaque acteur de l'eau agit dans son champ de compétences, sans tenir compte des besoins et des impacts des autres acteurs de l'eau.

- Le mode actuel de gestion de l'eau entraîne un gaspillage d'argent puisque des efforts mis en aval peuvent être annulés par des gestes posés en amont.
- Une vision d'ensemble est nécessaire pour faire face aux problématiques actuelles en matière d'eau (pollution diffuse, gestion des débits, accès à l'eau, etc.) ([OBV,2021](#))

I.10. La législation relative à l'eau

I.10.1 Législation de gestion durable des ressources en eau

La gestion du secteur de l'eau en Algérie s'organise principalement dans le cadre de la Loi relative à l'eau (loi 0512 du 4 août 2005). Instrument juridique à double finalité, normative et de politique sectorielle, cette loi fondamentale est issue du Code de l'eau de 1983. Celui-ci a subi des modifications successives pour prendre en compte les évolutions économiques du pays et pour adopter les principes et règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale. La loi sur l'eau de 2005 consacre le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous et fixe les objectifs suivants :

- L'utilisation rationnelle et planifiée des eaux pour la satisfaction des besoins des populations et de l'économie nationale,
- La protection des eaux contre la pollution, le gaspillage et la surexploitation,
- La prévention contre les effets nuisibles de l'eau.

Par rapport aux versions précédentes, elle apporte certaines dispositions innovantes et importantes :

- l'obligation d'élaborer un Plan national de l'eau et la planification de la gestion locale dans le cadre des bassins hydrographiques,
- l'établissement de règles régissant les systèmes de tarification de l'eau pour les usages domestique, industriel et agricole, appuyées sur la prise en compte des coûts réels des services d'approvisionnement,
- la possibilité de concession ou de délégation du service public de l'eau à des personnes morales de droit public ou privé.

La loi de 2005 en apporte d'une certaine manière la confirmation et en précise les conditions juridiques et réglementaires. Mais les principes de gestion décentralisée et de concertation que prône la loi relative à l'eau ne se traduisent pas encore nettement dans l'organisation, et encore moins dans le fonctionnement du secteur de l'eau, qui demeurent marqués par une forte centralisation (Benblidia , 2010)

I.10.2 La politique de La gestion de l'eau en Algérie :

La nouvelle politique de l'eau s'est fixé comme objectifs outre la mobilisation de toutes les ressources potentielles pour satisfaire l'ensemble des besoins sectoriels , une gestion rationnelle de ces ressources c'est à dire une gestion économique , organisée à l'échelle des bassins et écologique. En effet, la gestion de ressources hydriques nettement insuffisantes, faiblement mobilisées et mal exploitées a conduit au gaspillage de ces dernières. Les diverses pollutions et les pertes dans les réseaux de distribution d'eau potable et d'irrigation ont aggravé la situation en matière de disponibilité d'eau. On estime les pertes totales à 50% sur les volumes prélevés dans les réseaux d'eau potable et à 40% pour l'irrigation. Le programme quinquennal 2009–2014 a envisagé la poursuite de la création de sociétés de gestion des réseaux des villes ainsi que la formation de cadres et personnels chargés de la gestion de l'eau et de celle des infrastructures hydrauliques. La nouvelle politique de l'eau est basée non plus sur une approche sectorielle comme celle qui a prévalu durant les décennies précédentes mais sur une approche intégrée de la gestion qui tient compte à la fois de l'adéquation des ressources par rapport aux besoins et qui préserve l'environnement. Cette gestion englobe les aspects suivants : la gestion régionale, économique et écologique de cette ressource rare (SOUAK, 2010).

I.11 Vue systémique de la stratégie nationale pour les ressources en eau

L'Algérie avec sa superficie de 2.381.741 km² est divisée en 48 wilayas (départements). Le ministère des ressources en eau coordonne l'ensemble des activités liées à l'eau au niveau national. En Algérie, les ressources en eau sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Elles subissent depuis plus de deux décennies les effets néfastes de la sécheresse et de la pollution (Rouissat, 2010). L'accroissement brutal des besoins, les retards enregistrés dans les programmes de mobilisation et de transfert et l'absence d'outils de planification et de gestion, ont généré des situations de déficit chronique, et se répercutant de façon négative sur le développement socio- économique du pays. L'analyse de cette politique de développement ne peut être efficace qu'au niveau d'une vision d'ensemble et donc systémique. En effet l'ensemble

des actions définissant la stratégie générale de mobilisation des ressources en eau sont des sous systèmes du système mère qui est le développement du secteur des ressources en eau afin qu'il soit en harmonie et adéquation avec les diverses besoins exprimés à l'aval. C'est ainsi qu'outre les investissements considérables déjà consentis, toute la priorité vient d'être accordée au secteur des ressources en eau, dans le cadre des plans de développement.

Tableau I.2 : Définition des exigences du plan national de l'eau. (Benblida. M, 2010)

Domaine	Stratégie	Objectifs et Impact
Mobilisation superficielle	Réalisation et mise en exploitation des grands barrages Réalisation de transferts et /ou interconnexions	Porter la capacité à 12 milliards de m ³ Affectations spatiales et équilibre de la mobilisation
Dessalement d'eau de mer	Réalisation de stations de dessalement	Production de 2,4 millions de m ³ /j
Lutte contre les fuites et normalité des réseaux	Réalisation et réhabilitation des réseaux des grandes villes	Maîtrise des aspects quantitatifs et qualitatifs liés aux fonctionnements des réseaux de distribution
Gestion des réseaux	Contrats de gestion conclus avec des sociétés spécialisées	Maîtrise des contraintes d'exploitation et de fonctionnement
Epuración des eaux	Réhabilitation des stations non fonctionnelles et réalisation de nouvelles stations d'épuration	Porter les capacités d'épuration à 1,2 Milliards de m ³ Protection de l'environnement réutilisation pour l'agriculture
Mobilisation pour l'agriculture	Réalisation et équipement de grands périmètres d'irrigation Réalisation de retenues collinaires et petits barrages	Contribution à la promotion des surfaces irriguées
Mobilisation souterraine	Exploitation de la nappe albienne au sud-Transfert à partir des grandes potentialités souterraines (Chotts et autres)	Alimentation des hauts plateaux et développement de ces régions

I.12 Gestion quantitative des ressources en eau

I.12.1 Evaluation des ressources en eau

La croissance démographique et l'expansion économique font que les ressources en eau sont de plus en plus âprement disputées lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins des ménages, des collectivités, de l'agriculture et de l'industrie. On assiste par ailleurs à une multiplication des lois et des règlements régissant l'utilisation de l'eau des fleuves et des rivières à des fins environnementales et récréatives. Pour fournir l'eau nécessaire aux besoins fondamentaux et concilier l'ensemble des usages et des intérêts souvent conflictuels dans ce domaine, il est impératif d'instaurer sur la durée un contrôle de toutes les utilisations des ressources en eau et

une évaluation de ces mêmes ressources. Cette évaluation est en effet la condition sine qua non d'une mise en valeur durable et d'une gestion rationnelle des ressources en eau partout dans le monde (Harry, 2008).

On entend par « évaluation des ressources en eau » la détermination continue de leur emplacement, de leur étendue, de leur disponibilité et de leur qualité ainsi que des activités humaines dont elles subissent l'influence. L'évaluation des ressources en eau est décrite comme étant l'étude systématique de la situation actuelle et des tendances futures concernant tant les ressources en eau que les services d'approvisionnement en eau, l'accent étant mis en particulier sur la disponibilité, l'accessibilité et la demande. Qu'il s'agisse de l'irrigation, de la réduction des pertes causées par les inondations, de l'assainissement des eaux en milieu urbain et suburbain, de la production d'énergie, de l'approvisionnement en eau pour les besoins domestiques et industriels, de la santé, de l'atténuation des effets de la sécheresse ou de la protection des écosystèmes aquatiques, l'évaluation des ressources en eau est capitale pour la planification, la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien de systèmes d'approvisionnement fiables (Harry, 2008).

Bien que la notion d'évaluation des ressources en eau semble relativement limpide, son application exhaustive est particulièrement complexe et difficile à mettre en œuvre. Young et al. (1994) énoncent plusieurs conditions indispensables pour asseoir l'évaluation des ressources en eau sur une base solide, à savoir un cadre institutionnel adéquat, un système efficace et peu coûteux de contrôle qualitatif et quantitatif des eaux de surface et des eaux souterraines, un système souple et moderne de stockage, d'extraction et de diffusion des données, la coordination et la hiérarchisation des activités de recherche-développement et, enfin, la constitution et le maintien d'une équipe d'experts qualifiés en la matière ([Harry,2008](#))..

I.13 Gestion qualitative des ressources en eau

I.13.1 La pollution des ressources en eau

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire.

Cette pollution peut avoir des origines diverses :

- La pollution industrielle : avec les rejets de produits chimiques comme les hydrocarbures ou le PCB rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines

- La pollution agricole : avec les déjections animales mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais et utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines.
- La pollution domestique : avec les eaux usées provenant des toilettes, les produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), les peintures, solvants, huiles de vidanges, hydrocarbures...
- La pollution accidentelle : avec le déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel et qui viennent perturber l'écosystème (Marillys, 2010).

I.14 Dégradation de la qualité des ressources en eau

Les principaux paramètres entrainant la dégradation qualité des ressources en eau sont: (Rakotondrab, 2007).

- Forte évaporation :

Sous l'effet de la forte évaporation, il peut y avoir une augmentation de la teneur en sel des points d'eau ou une tendance à un accroissement de la concentration en polluants dans l'eau. En outre, l'élévation des températures entraînerait une hausse de température de l'eau qui se met en équilibre avec le milieu. Ce changement pourrait contribuer à réduire la concentration d'oxygène dissous, à accroître les concentrations des nutriments comme les phosphores et à donner à l'eau un goût et une odeur désagréable pendant la saison chaude.

- Le changement climatique pourrait également dégrader la qualité d'eau souterraine.

Il peut y avoir intrusion d'eau salée ou montée du niveau marin et infiltration dans les aquifères des régions côtières.

- L'augmentation des débits et la fréquence des inondations accentuent la turbidité de l'eau, l'érosion et le lavage chimique des sols (sédimentation ou ensablement, différentes formes d'érosions).
- Les précipitations intenses augmentent le risque de propagation ou de dispersion des rejets contaminants (déchets urbains, animaux, ...) et des maladies d'origine hydrique.

I.15 Détermination des outils et des méthodes de gestion qualitative des ressources en eau

L'objectif est de mettre en œuvre un programme de protection des ressources en eau. Ce programme permettra d'identifier les stratégies réalisables de contrôle de la pollution pour assurer un développement durable. Ce programme comprend :

I.15.1 Définition des objectifs de qualité de l'eau

Les objectifs de la qualité de l'eau doivent être établis sur la base de l'état actuel de la qualité de l'eau ainsi que les prévisions en terme de pollution. Ils doivent être définis pour garantir à court, à moyen, et à long terme la satisfaction des besoins de la population en eau de qualité adéquate à son utilisation (GWP, 2009).

C'est ainsi qu'à court terme (5 à 10 ans), l'objectif sera, par d'exemple, de stabiliser l'état global de la qualité de l'eau, Tandis qu'à long terme une amélioration globale de la qualité de l'eau par rapport aux niveaux actuels et la définition de la référence en matière d'évaluation de la pollution et de distinction de la pollution naturelle de la pollution spéciale (causée par l'homme) peut être envisagée, cela se fera par la mise en place des programmes de lutte contre la pollution accidentelle et d'un programme de dépollution, visant la réduction des flux de pollution (GWP, 2009).

Les objectifs de qualité serviront à orienter les efforts de contrôle de la pollution et à déterminer les priorités, mais aussi à orienter les efforts en matière de réglementation (valeurs limites de rejets par exemple), de financement des opérations, d'organisation, de suivi ou de sensibilisation, et de distribution des moyens. Ces actions doivent s'inscrire dans le contexte juridique de chaque pays et doivent être acceptées et communiquées à tous les partenaires de la gestion de l'eau (GWP, 2009).

I.15.2 L'importance de la protection de la qualité des ressources en eau

La réduction de la pollution des eaux passe essentiellement par l'application de bonnes pratiques par les usagers de l'eau et des milieux aquatiques sur tout le bassin versant. Les objectifs sont multiples : privilégier les activités les moins polluantes, améliorer les usages pour diminuer la quantité de substances utilisées ou rejetées, mais aussi intercepter les flux de polluants dans le bassin versant.

I.16 Lutter contre la pollution de l'eau

1. Réaliser une épuration des eaux avant leur rejet direct

Le rejet direct d'eaux usées dans le milieu naturel est interdit : les eaux usées doivent impérativement faire l'objet d'un traitement d'épuration pour éliminer les polluants qu'elles contiennent. Les quantités résiduelles après traitement doivent être suffisamment faibles pour être éliminées par l'autoépuration du milieu (généralement une rivière).

Les zonages d'assainissement déterminent les espaces dans lesquels ce traitement relève de l'assainissement collectif ou de l'assainissement non collectif.

En zone d'assainissement collectif, la collecte et le traitement des eaux usées sont réalisés par la collectivité : cela comprend la mise en place du "tout à l'égout", l'acheminement des eaux en station d'épuration, leur traitement, puis leur rejet dans le milieu. Les habitations situées en zone d'assainissement collectif ont l'obligation de se raccorder au réseau de collecte, afin de protéger le milieu dans lequel l'eau est rejetée une fois épurée.

En zone d'assainissement non collectif, les habitations ne sont pas desservies par le réseau public de collecte des eaux usées. Elles doivent être traitées par les particuliers au moyen de dispositifs dédiés : fosse toutes eaux (anciennement "fosse septique"), micro-station, filtre planté, **etc.**

2. Protéger les captages d'eau

Les captages d'eau sont les ouvrages de prélèvement qui exploitent une ressource en eau, superficielle (rivière, lac) ou souterraine (nappe phréatique). L'eau prélevée - appelée eau brute - sert notamment à la production d'eau potable après une étape de potabilisation. Pour protéger la santé humaine et limiter les coûts des traitements de potabilisation, l'eau brute doit être de la meilleure qualité possible, ce qui justifie la mise en place de protection des captages.

Les périmètres de protection qui réglementent les activités qui se déroulent à proximité des ouvrages de prélèvement, dans l'objectif d'éliminer tout risque de contamination de l'eau brute. Sur un secteur un peu plus vaste (périmètre de protection rapprochée). Parfois, certaines activités à risque peuvent être r sur une distance un peu plus grande (périmètre de protection éloigné),

I.17 L'information sur l'eau

S'engager dans la GIRE commence par réaliser un inventaire sur l'état physique des ressources en eau et des écosystèmes (GWP, 2009), des infrastructures locales, de la législation concernée, des politiques existantes et des activités de gestion actuelles (LOGOWATER, 2008). L'inventaire doit

rassembler les informations nécessaires pour constituer une base de connaissances qui donne une image globale de l'état de la gestion de l'eau. Ces connaissances doivent être facilement accessibles et consultables par les différents acteurs de la gestion de l'eau. Elles doivent également être fiables (Reynard, 2000). Le rôle du gouvernement local consiste à identifier les sources et les contacts nécessaires à la collecte de toute information pertinente, de superviser, de coordonner, de participer à la collecte des informations, de fournir les équipements et ressources nécessaires à la mise en place d'un système efficace de stockage d'informations (GWP, 2009). Il s'agit de mettre en œuvre un système d'informations d'aide à la décision concernant la gestion des ressources en eau permettant de récolter, organiser, interpréter et divulguer les informations indispensables aux décideurs (Reynard, 2000) dans le processus de prise de décision. Car une bonne gestion passe nécessairement par une bonne information (Reynard, 2000).

Les tâches nécessaires à la construction de ces systèmes d'informations se fait par étapes, résumées dans le Tableau I.3. Ces étapes sont synthétisées dans un schéma montrant le processus d'agrégation de l'information afin de fournir un indice Cependant, il faut noter que la difficulté de ces tâches est qu'elles se heurtent à une collecte d'une masse exhaustive de données souvent inutiles et qui prennent beaucoup de temps, à une certaine réticence à fournir des informations et à des informations de mauvaise qualité.

Tableau I.3 Tâches-clés pour la construction d'un système d'aide à la décision (Reynard, 2000)

Tâches-clés	Description
Compilation d'une liste de sources d'information	Dresser une liste des institutions, organismes et toute autre source susceptible de fournir des informations utiles à la conduite de l'évaluation initiale
Collecte d'Informations secondaires	Collecter des informations déjà disponibles dans les archives et stocks de données de tous les services du gouvernement local ainsi qu'auprès de certaines institutions et organismes extérieurs identifiés. Cela devrait fournir une bonne compréhension de la situation actuelle des ressources en eau tant au niveau physique, au titre de la qualité, de la quantité et des tendances de la demande, qu'au niveau juridique, à l'égard de la législation et de la politique
Collecte de l'information primaire	Collecter des informations au moyen d'enquêtes visant, par exemple, à combler les lacunes sur les infrastructures et l'environnement hydrologique locaux, et au moyen de discussions avec la communauté locale afin de mettre en valeur les préoccupations actuelles, tels les problèmes de santé qui pourraient être liés aux ressources en eau locales
Stockage de l'information	S'assurer que l'information est bien documentée et stockée d'une manière systématique et structurée idéalement, cela devrait se faire au moyen d'une base de données électronique toutefois, cette tâche peut s'accomplir aussi à l'aide d'un système de classement plus traditionnel pourvu qu'il soit bien organisé et maintenu
Garantie de l'accès à l'information	Assurer aux autres services du gouvernement un accès facile à l'information compilée et, à l'extérieur, permettre à la société civile de profiter du stock croissant de connaissances
Identification des parties prenantes	Identifier les parties prenantes à un stade initial du processus en vue de leur participation à l'élaboration d'un plan d'action local pour la GIRE
Médias et relations publiques	Annoncer l'intention d'entreprendre une évaluation initiale afin de sensibiliser le public aux raisons de la collecte de l'information et encourager le public à s'impliquer

I.18 Gestion de l'eau et prise de décision

Les problèmes de gestion de l'eau tournent tous autour de quelques questions principales c'est-à-dire la répartition inégale spatiale et temporelle des ressources en eau ainsi que la mauvaise qualité de l'eau disponible. Ces caractéristiques peuvent en outre être exacerbée par la croissance démographique, le développement et le changement climatique, le premier but de la gestion des ressources en eau est donc d'assurer et améliorer la répartition, préserver la qualité de l'eau, faire face aux événements extrêmes tels que les inondations et atténuer les sécheresses, et avec des variabilités de l'approvisionnement en eau.

De nouvelles stratégies et de nouveaux instruments ont été développés pour conduire à une utilisation et allocation durables des ressources en eau : par exemple le dessalement, la

réutilisation et la récolte de l'eau (c'est-à-dire généralement par la collecte à petite échelle et stockage) ou via différents systèmes visant à améliorer l'efficacité dans l'utilisation de l'eau.

I.19 Aspects institutionnels et réglementaires de la gestion de l'eau

1.19.1 L'aspect Institutionnel : Le secteur de l'eau est composé de

1.19.1.1 L'Administration centrale (Ministère des Ressources en eau/MRE)

Elle se compose de 9 directions réparties en 3 pôles de compétences :

- Planification des aménagements et des investissements,
- Programmes de développement et régulation des services publics,
- Administration générale, réglementation et ressources humaines, (bounab, 2007)

1.19.1.2 L'Administration déconcentrée

Pour une meilleure lisibilité de la répartition des compétences entre les différentes agences du secteur de l'eau, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) dispose de relais déconcentrés au niveau local avec les directions des ressources en eau de wilaya (DREW, 48 Directions) (bounab, 2007)

1.19.1.3 Les établissements publics sous tutelle

- Les établissements publics ayant pour mission de mettre en œuvre les programmes nationaux d'évaluation des ressources en eau et les systèmes de gestion intégrée de l'eau à l'échelle des bassins hydrographiques (ANRH, ABH). (bounab, 2007)
- Les établissements publics ayant pour mission de développer les infrastructures et de gérer, les services de l'eau, de l'assainissement et de l'irrigation (ANBT, ADE, ONA, ONID).

1.19.2 L'ASPECTS REGLEMENTAIRES

1.19.2.1 Ministère des ressources en eau

Le Ministre des Ressources en Eau (MRE) a pour principale mission de proposer et de mettre en œuvre la politique nationale de l'eau.

Dans ce cadre, le Ministère des Ressources en Eau est chargé de créer les conditions institutionnelles permettant d'améliorer la gestion des services publics de l'eau, notamment à travers la promotion du partenariat public-privé. La concertation institutionnelle avec les

secteurs directement concernés est assurée au sein d'un organe consultatif dénommé « Conseil national de l'eau ». (bounab, 2007)

1.19.2.2 L'Administration déconcentrée

Constituée de 48 Directions des ressources en eau de Wilaya (DREW) chargées de la maîtrise d'ouvrage des projets hydrauliques déconcentrés et la maîtrise d'œuvre des projets décentralisés au niveau communal. (bounab, 2007)

1.19.2.3 Les établissements publics sous tutelle

En 2001 des réformes institutionnelles ont modifié en profondeur les établissements publics à compétence nationale qui sont sous la tutelle du MRE :

1.19.2.4 Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH)

Elle est chargée d'étudier et d'évaluer les ressources en eaux et en sols irrigables.

1.19.2.5 Les Agences de bassins hydrographiques (ABH)

Le territoire algérien est subdivisé en 5 grands bassins versants créant dans chacun d'entre eux des organismes de bassin: Agences de Bassin hydrographique et Comités de bassin hydrographique, figure (I-2). La création en 1996 de l'échelon régional avec les Agences de bassins hydrographiques (ABH) et les Comités de bassin marque le passage d'une gestion sectorielle compartimentée à une gestion concertée au niveau des régions hydrographiques. (bounab, 2007)

Le découpage de l'Algérie du Nord en quatre régions repose sur les critères suivants Les caractéristiques géographiques et naturelles des régions, Le groupement des bassins versants et sous bassins hydrographiques, entre lesquels existent des nécessités de transfert.

Les bassins du nord : • Oranie Chott-Chergui, • Chelif -Zahrez, • Algerois - Hodna – Soummam, • Constantinois - Seybouse – Mellegue

Le bassin du sud : Sahara.



Figure I.2 : Localisation des grands bassins hydrographiques de l'Algérie (source : ABH)

1.19.2.6 L'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT)

Elle est responsable de mobiliser et de transférer les ressources en eau vers les lieux d'utilisation. (bounab, 2007)

1.19.2.7 L'Algérienne des eaux (ADE)

Sa mission est de gérer tout le processus d'alimentation en eau potable et industrielle y compris la mise en œuvre des programmes annuels et pluriannuels d'investissements ;

1.19.2.8 L'Office national de l'assainissement (ONA)

Sa prérogative est la gestion et le développement des infrastructures d'assainissement urbain ;

1.19.2.9 L'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID)

Il est chargé de gérer les périmètres d'irrigation que l'État et les collectivités locales lui concèdent ; dans ce cadre, l'Office a également pour tâche de mettre en œuvre des stratégies pour rationaliser l'usage de l'eau d'irrigation.

Deux autres ministères sont proches de la gestion de l'eau:

- ✓ Le ministère de l'Environnement: les inspecteurs de l'environnement sont appelés à veiller sur les causes de la pollution de l'eau,
- ✓ Le ministère de l'Agriculture: les eaux d'irrigation influencent le rendement agricole. (bounab, 2007)

I.20 Conclusion

La gestion des ressources en eau est l'activité qui consiste à planifier, développer, distribuer et gérer l'utilisation optimale des ressources en eau, du point de vue qualitatif et quantitatif. De nombreux acteurs sont impliqués dans la gestion des ressources en eau, notamment les collectivités et les entreprises publiques. L'eau est de plus en plus perçue comme une ressource naturelle précieuse et un bien commun à partager avec les autres êtres vivants de la planète ; une ressource limitée et inégalement répartie, à utiliser de manière économe et à dépolluer avant de la rendre au milieu naturel .

L'élaboration d'une politique de l'eau basée sur la gestion intégrée des ressources en eau servira de cadre à l'amélioration du secteur de l'eau en Algérie.

CHAPITRE II

LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUES DANS LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU.

Chapitre II

La modélisation hydrologique dans la gestion des ressources en eau

II.1 Introduction

La modélisation dans la gestion des ressources en eau s'intéresse à la représentation des variations spatiales et temporelles des flux d'eaux à l'échelle du bassin versant à l'aide de bilans de masse, de quantité de mouvements et d'énergie thermique (Villeneuve J.P et al., 1998). C'est une discipline récente par rapport aux autres disciplines et sciences, cette discipline est émergé face à la complexité du système Eau dans sa gestion primitive, même à l'échelle d'une unit hydrologique réduite (Laurent F., 1996). En plus, la ressource en eau est limitée et distribué inégalement dans l'espace et dans le temps et qu'elle interagit avec tout son environnement (Hamlat A.E.K., 2014). Il faut ajouter à cela, le problème de la demande de la ressource en eau est accroit sans cesse, et la vulnérabilité de cette ressource vis-à-vis la pollution et gaspillage.

La modélisation ou bien les outils numériques d'aide à la décision se sont les outils et méthode grâce auxquels les décideurs sont en mesure de choisir, de manière rationnelle et avisée, entre différentes actions envisageables. Ces choix doivent être fondés sur des politiques reconnue sur les ressources disponibles, l'impact sur l'environnement et les conséquences sociales économiques (TAC, 2012).

II.2 Analyse du bassin hydrographique

1. Synthèse de modèle

Chacune des composantes du modèle de gestion discuté peut être combinée, selon le cas, dans un modèle de système fluvial. Illustre l'un de ces systèmes fluviaux avec certaines de ses parties prenantes (khodja, 2020).

L'une des premières tâches de la modélisation de ce bassin consiste à identifier les composants réels et potentiels du système et leurs interdépendances. Ceci est facile en traçant un schéma du système au niveau de détail qui traitera les questions discutées et qui intéressera ces parties prenantes. Ce schéma peut être dessiné sur le bassin (khodja, 2020).

Ces sites sont généralement ceux où une décision doit être prise. Le bilan de masse et d'autres contraintes devront être défini sur chacun de ces sites.

2. Approche de modélisation utilisant l'optimisation

Une fois que le nombre et la durée des pas de temps à modéliser ont été identifiés, les variables et les fonctions utilisées sur chaque site doivent être nommés. Il est commode d'utiliser une notation que l'on puisse retenir lors de l'examen des solutions types. (khodja, 2020).

3. Approche de modélisation à l'aide de la simulation

Une approche de simulation utilise essentiellement les mêmes équations et contraintes du bilan hydrique.

Dans une approche de simulation, l'analyse devra spécifier les valeurs des variables de décision. Les "meilleures" valeurs de ces variables de décision devront être déterminées par des analyses de sensibilité, c'est-à-dire en modifiant ces variables et en voyant quel sera le résultat en termes de fonctions objectives. Par conséquent, la simulation est une approche « tâtonnement » (khodja, 2020).

Un modèle de simulation du système simple, peut facilement être développé à l'aide d'un tableur. Des systèmes plus compliqués peuvent être simulés en utilisant des progiciels génériques pour la planification des bassins hydrographiques tels que RIBASIM (WL | Delft Hydraulics, 2004), MIKE BASIN (DHI, 2003) et WEAP-21 (SEI, 2001).

Ces progiciels de simulation de bassins hydrographiques prennent en charge le développement d'une schématisation de modèle consistant en un réseau de nœuds connectés par des liens. Les nœuds représentent des réservoirs, des centrales hydroélectriques, des utilisateurs d'eau, des flux entrants, des bifurcations artificielles et naturelles, des ouvrages de captage, des lacs naturels, etc.

Les liens transportent l'eau entre les différents nœuds. Un tel réseau représente les caractéristiques du bassin qui sont importantes pour le problème de planification et de gestion en question. Le réseau peut être ajusté pour fournir le niveau de détail spatial et temporel requis. Le bassin hydrographique est représenté par une schématisation de réseau superposée sur une image vectorielle ou matricielle. (khodja, 2020).

4. Optimisation et simulation

Pour déterminer les meilleures valeurs variables de conception et de politique d'exploitation dans les systèmes de bassins hydrographiques, l'utilisation de modèles d'optimisation et de modèles de simulation peut être avantageuse. L'optimisation est souvent utile, mais pas pour trouver les meilleures solutions, mais pour éliminer les pires solutions de rechange. Les autres peuvent ensuite être analysés plus en détail, à l'aide de modèles de

simulation plus détaillés. La simulation en soi soulève la question suivante: "Que simuler?".

L'optimisation en soi pose la question: "La solution est-elle vraiment la meilleure?"

Utiliser l'optimisation comme un outil de sélection préliminaire est un art. (khodja,2020).

II.3 Systèmes d'informations géographiques (SIG)

Les SIG permettent d'intégrer la variabilité spatiale des données en gérant à la fois leur nature thématique et géo-référencée. Plus que de simples outils de stockage et d'affichage, ils offrent des possibilités d'analyse spatiale importante et permettent ainsi d'extraire les relations spatiales qui lient les phénomènes à l'échelle d'une unité hydrologique (Laurent F, 1996).

SIG présente un outil d'aide à la décision qui permet de connaître à chaque site géographique la valeur du bilan global ressources hydriques pour chaque année. Les résultats fournis peuvent contribuer à l'actualisation et à l'extension des zones qui possèdent des potentialités en eau et d'identifier les zones qui présentent un risque de déficit hydrique dans le futur. En plus, il permet avoir la possibilité d'optimiser des dimensions des zones de protection de ces ressources (Aharik, 2016).

Dans la matière de la gestion des ressources, les Systèmes d'Information Géographiques se présentent comme des technologies efficaces. Ayant un large domaine d'application, ils ont montré une grande efficacité dans la matière de la gestion des ressources grâce à leur performance dans le géo-référencement. Ils offrent des outils appropriés pour la combinaison de données spatiales ainsi que des modèles sur un même support graphique. Ceci permettra une communication des informations entre les intervenants afin d'assurer une bonne coordination des activités (Trabelsi N et al, 2006).

L'aménagement et la gestion intégrée d'un bassin versant ou d'une nappe souterraine ne peuvent plus être envisagés sans un SIG. Non seulement la connaissance des phénomènes et des enjeux le nécessite, mais de plus la pérennité des données (qui représentent un coût et des efforts importants pour les collecter) ne peut être assurée que par cette structure de gestion de données. Une analyse prospective et tendancielle des grands systèmes aquifères notamment, avec des temps de renouvellement de plusieurs années, imposeront de plus en plus cette notion de pérennité des données et de mises-à-jour (Laurent F, 1996).

Mais le SIG ne constitue pas une solution unique, il bute sur la simulation temporelle lorsque le nombre d'incrémentations est élevé. D'autres outils ont pour but de représenter la variabilité temporelle et parfois spatiale des phénomènes hydrologiques et doivent être utilisés

dans le cadre d'une gestion intégrée des ressources en eau : les modèles hydrologiques (Laurent F,1996).

II.4 Système d'aide à la décision (SAD)

Les systèmes d'aide à la décision (SAD) (DSS : Decision Support System) sont des outils d'aide au traitement de l'information et à la prise de décision. « Un SAD est un système de Traitement de l'Information qui permet d'extraire et de donner au décideur l'information nécessaire au processus de prise de décision. En plus, un SAD est un résolveur de problème ». D'une manière générale, on peut le définir comme étant "un système informatique qui facilite le processus de prise de décision". Un Système d'Aide à la Décision (SAD) regroupe l'ensemble des outils informatiques (matériels et logiciels) permettant :

- D'extraire, de transformer et de charger les données opérationnelles ;
- De constituer un ou des espaces de stockage de données décisionnelles ;
- De manipuler ces données au travers d'outils d'analyse ou d'interrogation destinés au pilotage des organisations. (sonia)

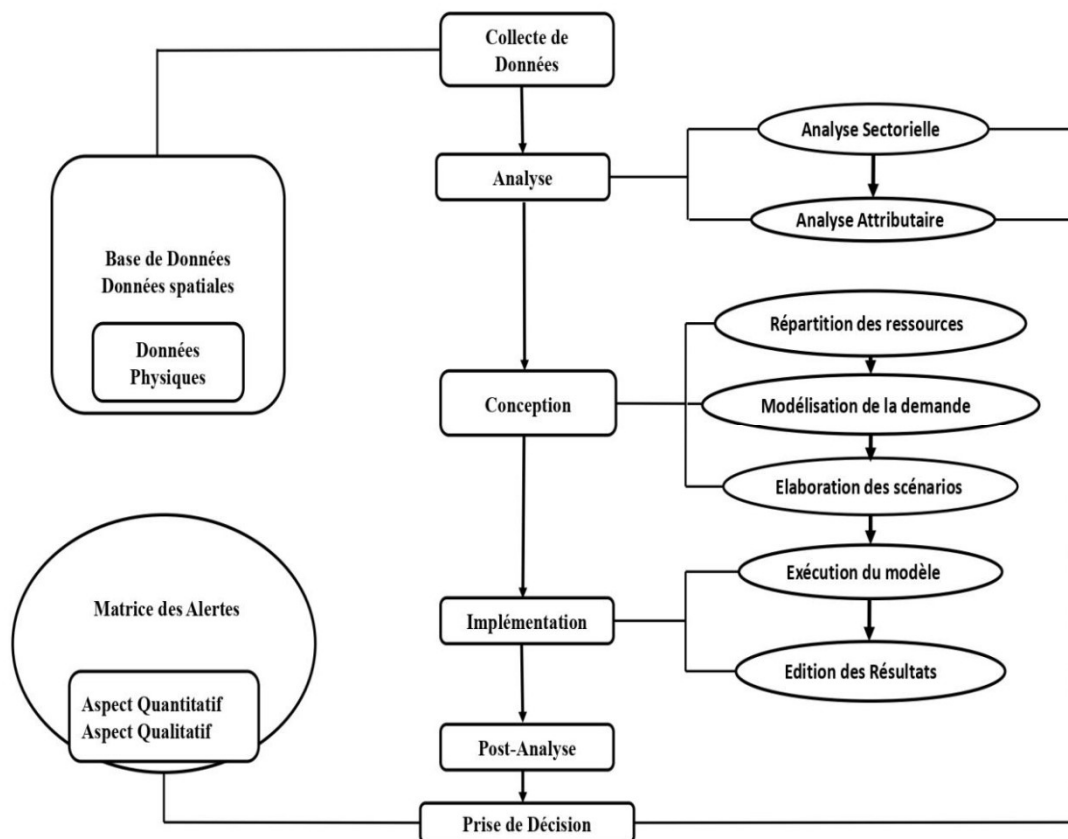


Figure II. 1 : Etapes De L'établissement D'un SAD (Benseddik, B Et El Mansouri, B, 2012).

Utilisation opérationnelle des technologies numériques

Deux questions se posent lorsqu'il est question d'évaluer le recours aux technologies de l'information :

- Question (1) Ces technologies de pointe sont-elles indispensables pour assister le gestionnaire dans sa prise de décision ? Et si oui,
- Question (2) quelles sont les raisons expliquant la faible percée de ces outils pour la prise de décision dans les organismes publics ?

En ce qui concerne la première question, note que le développement ou le recours aux technologies de pointe pour la prise de décision ne doit pas être fait aveuglément en raison des coûts et des ressources en jeu. Ce recours doit donc être décidé en fonction du contexte de gestion. Ainsi, dans des situations à très court terme, pour des situations d'urgence, pour des besoins d'intervention au plan local ou encore pour des thématiques très ciblées, l'utilisation de nouveaux outils numériques peut ne pas être justifiée. Les méthodes conventionnelles de prise de décision ou l'utilisation d'outils existants permettant une réponse rapide peuvent être adéquates pour ces situations. Par contre, le recours aux technologies numériques devient intéressant lorsque les besoins de gestion englobent des concepts de prédiction, de simulation de scénarios, d'analyses et de diagnostic, ou lorsqu'un ou plusieurs des facteurs suivants priment : objectifs à moyen et long termes, enjeux multiples, objectifs visés de planification des interventions, zone étudiée de grande étendue et diversité très complexe des usages (Dupont J. et al., 1998).

Malgré l'existence d'une multitude de modèles, SIG et SAD, le recours aux outils d'aide à la décision par la majorité des organismes gouvernementaux reste encore très limité. Plusieurs raisons expliquent cette hésitation, les principales se situant au plan du transfert technologique et du manque d'expertise nécessaire à l'utilisation rentable des outils numériques (Dupont J. et al., 1998).

Peuvent nuire à l'utilisation des outils numériques d'aide à la prise de décision sont :

II.5 Contraintes technologiques

Ce sont les contraintes liées à l'accessibilité aux matériels et méthodes numériques (technologiques), et parfois liées au manque des cadres spécialisés dans la direction des projets associés aux outils numériques d'aide à la décision. (Dupont J. et al., 1998).

II.6 Contraintes liées aux données

L'utilisation des outils numériques d'aide à la prise de décision dépend des données, la contrainte ici revient à l'acquisition, coût et qualité des données, donc la décision à prendre dépend de l'état et la disponibilité de ces données. (Dupont J. et al., 1998).

II.7 Contraintes organisationnelles et humaines

C'est la contrainte qui est souvent rencontré face à l'application des systèmes numériques, King (1996) a donné une description de ces contraintes comme suit de la complexité du système par le décideur

- Exposition limitée du décideur aux technologies de l'information
- Mauvaise allocation des ressources (trop sur la quincaillerie et pas assez sur les ressources humaines)
- Impossibilité de développer une expertise interne en raison de la charge de travail courante .
- Manque d'expertise des utilisateurs potentiels
- Implication trop tardive dans le développement de l'outil d'aide à la décision
- Espoirs irréalistes de l'utilisateur et des décideurs. (Bardraoui,2019)

II.8 Démarche souhaitée pour faciliter l'utilisation des technologies numériques dans la prise de décision

Les contraintes citées précédemment pourraient facilement décourager plus d'un gestionnaire ou utilisateur potentiel. Cette liste met en relief le besoin de bien préparer et de bien structurer l'implantation des technologies numériques au sein de l'organisation qui sera l'utilisateur éventuel.

Il faut éviter une démarche dans laquelle l'organisme décideur ne tente de s'ajuster qu'après livraison de l'outil ou essaie de recourir à une technologie qui ne correspond pas à ses besoins. Une telle démarche mène directement à l'échec ou à la non utilisation des outils numériques. Le problème principal à l'origine de la faible percée des technologies numériques réside dans le fait que l'emphase est trop souvent mise sur l'outil lui-même alors que peu d'importance est accordée à l'environnement structurel dans lequel sera utilisé l'outil (LITTLE, 1970). L'implantation des outils d'aide à la décision devrait passer par quatre grandes étapes afin de maximiser l'efficacité des outils et des ressources disponibles

Étape 1 : Orientations et cadre décisionnel

La première étape concerne surtout le décideur. Cette première étape de l'implantation de toute technologie numérique devrait être de définir clairement la portée du projet, les budgets alloués, les attentes, etc. Le décideur doit agir comme maître d'œuvre à cette étape et doit déjà prévoir les ajustements nécessaires pour intégrer l'outil d'aide à la prise de décision qui sera bientôt mis à sa disposition. Une fois le projet défini, le décideur doit évaluer, en collaboration avec ses spécialistes, si le projet doit être effectué à l'intérieur d'un cadre de gestion intégrée tel que décrit précédemment ou bien à l'intérieur d'une démarche d'intervention sectorielle requérant l'expertise d'un nombre limité de gens. Cet aspect est particulièrement important puisqu'il aura une incidence majeure sur l'acquisition de données et le processus de prise de décision. Les étapes qui suivent sont particulièrement importantes dans le cadre d'une gestion intégrée de l'eau par bassin. ((Bardraoui, 2019)

Étape 2 : Phase d'analyse des besoins

La deuxième étape doit servir à établir un pont entre le décideur et les scientifiques. Cette phase cruciale doit servir à établir le rôle de l'outil numérique à l'intérieur du cadre décisionnel. Elle correspond en grande partie à l'analyse de besoins du projet et cible les préoccupations méthodologiques et technologiques du développement. Cette étape doit aussi servir à réaliser l'inventaire des ressources disponibles (personnel, outils déjà utilisés, lacunes à combler, expertise requise ou disponible), la structuration et la géolocalisation des données à référence spatiale, la formation du personnel et la sélection du type d'outil approprié pour répondre aux besoins des décideurs. (Dupont J. et al., 1998).

Little, 1970, montre qu'un outil d'aide à la prise de décision soit très convivial d'utilisation tout en étant très performant et probant. (Bardraoui,2019)

Étape 3 : Phase technologique

Cette étape correspond à la phase d'implantation de l'outil. L'adaptation d'outils existants ou le développement de nouveaux outils spécifiquement adaptés aux besoins du gestionnaire peut avoir lieu à cette étape. Mais, dans ces cas bien spécifiques, l'adaptation se doit d'être accomplie par une équipe de développement familière avec l'outil. Cette étape requiert qu'un lien demeure entre le gestionnaire et les scientifiques et qu'une rétroaction soit possible entre ces instances, comme elle exige de plus qu'une préparation de l'organisme décideur à recevoir un nouvel outil numérique ait été réalisée dans la phase 2 de façon à pouvoir intégrer sa contribution aux processus décisionnels.

Étape 4 : Phase opérationnelle

Finalement, une phase pilote permettant de roder l'outil numérique à l'intérieur de la structure opérationnelle est aussi de mise. Dans le cas d'outils plus complexes, cette phase opérationnelle devrait intégrer un suivi technologique permettant d'assister l'utilisateur dans la résolution de problèmes d'application particuliers. Un développement dynamique permettant de bonifier l'outil existant peut aussi être considéré à cette étape-ci. Seulement après réalisation de l'ensemble de ces étapes il est possible de procéder à une utilisation opérationnelle, rationnelle et optimale des outils numériques d'aide à la décision (Bardraoui,2019)

II.9 Quelques modèles hydrologiques et de gestion des ressources en eau

II.9.1 Le modèle SWAT

II.9.1.1 Présentation du Modèle

SWAT est l'acronyme pour "Soil and Water Assessment Tool". C'est un outil d'évaluation d'un bassin versant fluvial développé par des chercheurs du Département de l'Agriculture des Etats-Unis (USDA). Il est disponible en accès libre sur internet.

Il permet de manipuler et d'analyser de nombreuses données hydrologiques et agronomiques en vue de prédire les effets de la gestion des terres sur la ressource hydrique. Il permet de simuler les transferts de nutriments, de sédiments et pesticides vers le réseau de drainage et vers les aquifères. SWAT simule également les rendements des cultures en présence, en fonction des conditions environnementales et des techniques de culture.

Les bassins versants représentés dans ce modèle ont des superficies allant de quelques centaines à plusieurs milliers de km². Le modèle prend en compte l'ensemble du cycle hydrologique, représenté au niveau du bassin versant de façon spatialisée. SWAT peut analyser le bassin versant dans sa globalité ou en le subdivisant en sous-bassins versants contenant des portions homogènes appelées Unités de Réponse Hydrologiques (HRU).

Le modèle est surtout utilisé en Amérique du Nord et en Europe dans la production de flux diffus de sédiments, de nutriments et de pesticides (Beaudin, 2006). Il est utilisé en France par le Cemagref pour évaluer les risques de pollution diffuse par l'azote d'origine agricole dans deux bassins versants des pays de la Loire (INRA, 2004). A Toulouse, Ecolab s'en sert dans une partie de ses thèmes de recherche.

II.9.1.2 SWAT en SIG

SWAT peut être lié avec le logiciel ArcGIS. Cela permet de faciliter la récolte et l'utilisation des données d'entrées et la manipulation des phases d'intégration et de calibrage.

II.9.1.3 Fonctionnement de SWAT

SWAT, comme les autres modèles hydrologiques, reproduit le cycle de l'eau sur le bassin versant de manière simplifiée. La modélisation peut être séparée en deux parties :

- une composante "sous-bassins" qui permet de réaliser des bilans hydriques sur chaque sous-bassin, qui sont ensuite intégrés sur l'ensemble du bassin,
- une composante "transfert" qui réalise le transfert de l'eau dans les réseaux jusqu'à l'exutoire.

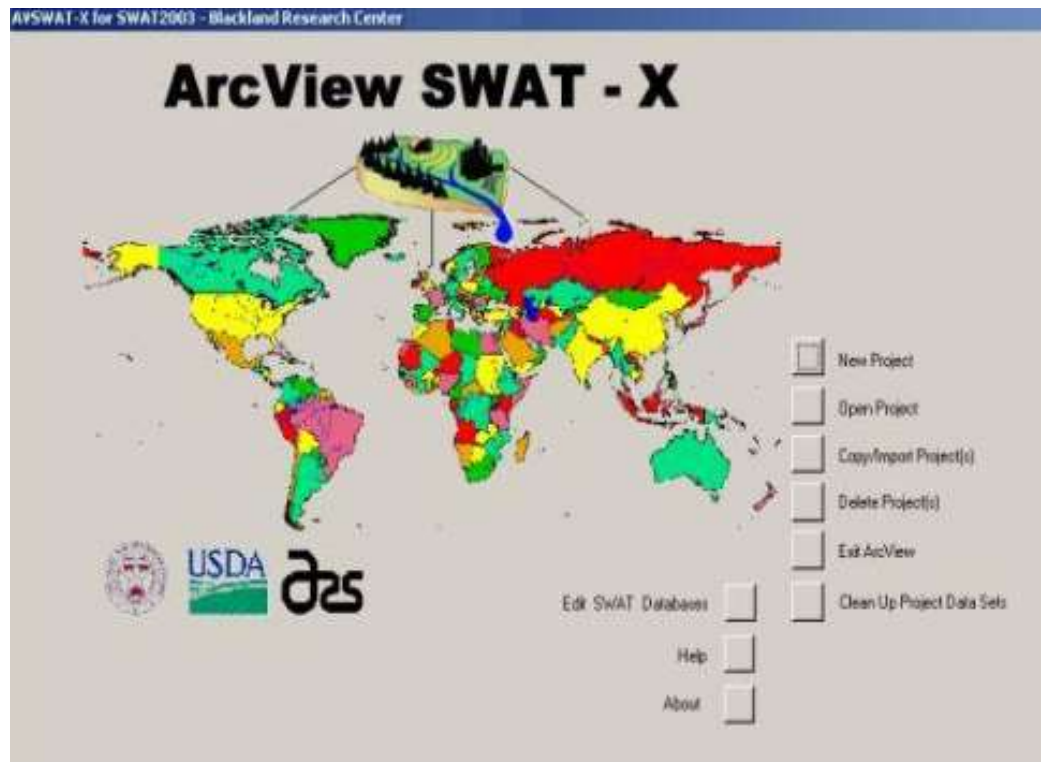


Figure II. 2 : Aperçus Du Modèle Arcview Swat (Arnold J Et Al, 2005).

II.9.4 Equation hydrologique de SWAT

Le bilan hydrique contrôle les différents processus hydrologiques qui se déroulent sur le bassin. Dans le cas de SWAT, il simule le cycle de l'eau par le biais de l'équation hydrologique suivante:

$$SW_t = SW_o + \Sigma (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{eq (II.1)}$$

avec :

- SW_t = contenu en eau du sol (mm)
- SW_o = eau disponible pour les plantes (mm)
- R_{day} = précipitation (mm)
- Q_{surf} = ruissellement de surface (mm)
- E_a = évapotranspiration (mm)
- W_{seep} = percolation (mm)
- Q_{gw} = débit d'étiage (mm)

- **Ruissellement (Qsurf)**

Le ruissellement de surface est estimé par SWAT par une modification de la méthode SCS (USDA Soil Conservation Service, 1992) ou par la méthode d'infiltration de Green et Ampt (1911).

- **Evapotranspiration (Ea)**

De nombreuses méthodes sont développées pour estimer l'évapotranspiration potentielle.

- **Constitution des HRU**

L'unité spatiale élémentaire de SWAT est la HRU (Hydrologic Response Unit ou Unité de Réponse Hydrologique). L'obtention des différentes unités spatiales repose sur deux concepts

- La définition d'unités reposant sur la structure du réseau hydrographique à partir duquel sont extraits les sous-bassins.

- La définition d'unités hydrologiques homogènes appelées HRU : celles-ci sont obtenues par croisement du découpage en sous-bassins versants, de l'occupation du sol et de la pédologie.

Toute combinaison identique de ces trois éléments est supposée produire une réponse hydrologique similaire.

II.9.5 Données en entrée

Le modèle nécessite des informations spécifiques pour chaque HRU sur le climat, les propriétés du sol, la topographie, la végétation, les pratiques culturales. On peut distinguer trois étapes dans le fonctionnement de SWAT :

- la prise en compte de la topographie, par le MNT (Modèle Numérique de Terrain), qui permet de définir le réseau hydrographique. Il est possible de choisir les exutoires pour délimiter les sous-bassins versants,

- le croisement des informations relatives à l'occupation du sol et au type de sol. Il permet de définir les différentes HRU. Plus ces champs sont renseignés précisément, plus le nombre de HRU est grand. Alors, le modèle peut considérer les différentes valeurs d'évapotranspiration selon le type de culture, le type de sol et la gestion culturale,

- la prise en compte des données climatiques : précipitations journalières, températures (min, max, moyenne journalières), humidité relative, vitesse du vent et radiation solaire.

II.9.6 Données en sortie

Après exécution du modèle, un outil d'analyse des sorties (variables simulées par le modèle) permet d'extraire les données du fichier de sortie ASCII puis de les visualiser et de les analyser.

Les sorties sont données à différentes échelles de temps : journalière, mensuelle ou annuelle, et d'espace : HRU ou sous-bassin.

Les données en sortie du modèle SWAT sont :

- hydrologie (ruissellement, interception par le couvert, évapotranspiration, drainage, percolation, ruissellement de subsurface, retenues, marécages),
- climat (température du sol, neige, générateur climatique),
- croissance des cultures,
- gestion agricole (irrigation, rotation, pesticides),
- transfert de l'eau dans le bief principal,
- sédimentation,
- nutriments. (BEI ERE, 2012)

II.9.2 Modèle MIKE BASIN

Développé par DHI, MIKE BASIN est un outil professionnel d'aide à la décision dédié à la gestion de la ressource en eau. Il permet, à l'échelle d'un bassin versant, d'optimiser l'utilisation de la ressource eau en fonction des demandes et des contraintes techniques, économiques, sociales et politiques .(DHI, 2006).

MIKE BASIN est basé sur une représentation mathématique du bassin versant défini par son réseau hydrographique, son régime hydrologique et les aménagements régulant les stocks et les flux d'eau.

La première version de MIKE BASIN a été développée sous l'interface graphique d'ArcView3.2®. Depuis 2005, c'est sous ArcGIS que ce logiciel poursuit son développement.

II.9.2.1 Domaine d'application

Face aux contraintes de partage et gestion de la ressource en eau entre différents organismes, villes, pays,... il s'est avéré nécessaire de développer une politique globale de gestion de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant et non à l'échelle d'entités administratives.

MIKE BASIN a été développé pour répondre à cette nécessité croissante d'une gestion intégrée et durable de la ressource en eau.

Les applications de ce logiciel sont diverses :

- Analyse du fonctionnement hydraulique global
- Analyse du fonctionnement hydrologique global
- Analyse de demandes multisectorielles
- Optimisation de la gestion de la ressource en eau
- Gestion de manœuvres journalières (barrages...)
- Gestion des étiages (périodes de basses eaux)
- Etude de qualité des eaux
- Management environnemental
- Planification des actions sur un bassin versant
- Elaboration de supports de communication

MIKE BASIN représente sous la forme de branches et de nœuds toutes les caractéristiques de la distribution de la ressource en eau : réseau hydrographique, sous-bassins versants, usagers, barrages, centrales hydroélectriques et canaux d'amenée. Il permet de décrire les demandes multisectorielles (usage domestique, industrie, agriculture, production d'électricité, navigation, environnement...) ainsi que des règles de priorité entre chacune de ces utilisations. Chaque variable d'entrée peut être optimisée grâce à une macro de calcul adaptée définie dans MIKE BASIN .(DHI, 2006)

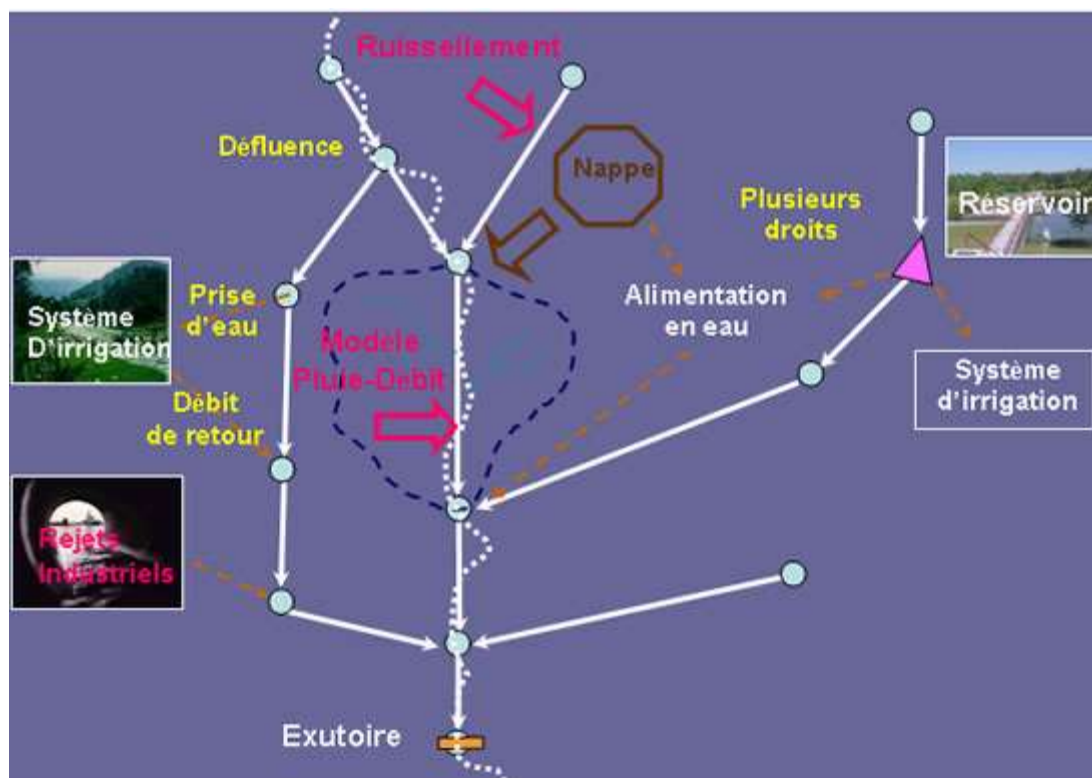


Figure II.3 : Concept MIKE BASIN (DHI, 2006)

Le concept mathématique de MIKE BASIN consiste à définir une solution stationnaire à chaque pas de temps. Il en résulte une grande souplesse dans l'utilisation de l'outil: rapidité des simulations, absence d'instabilités numériques, stockage d'un grand nombre de résultats .(DHI, 2006)

- Barrage

Les barrages sont décrits par MIKE BASIN comme des réservoirs pour lesquels l'opérateur renseigne les caractéristiques hydrauliques (relations Hauteur-Volume-Surface) ainsi que les règles d'attribution associées (volumes de stockage souhaités, niveaux d'eau, débits). En période de sécheresse, l'approvisionnement depuis le barrage peut être réduit. Ils peuvent être modélisés de trois façons différentes : un réservoir avec un volume physique de stockage unique, un réservoir composé de volumes de stockage conceptuels pour chacun des usagers, un réservoir sans règle d'attribution de type lac.

- Eaux souterraines

MIKE BASIN permet de prendre en compte les interactions avec les eaux souterraines. La modélisation de la nappe est basée sur un calcul simple (type réservoir linéaire). Il est alors possible de définir l'infiltration depuis les cours d'eau, la recharge, le débit de base ainsi que

les modes de prélèvements directs dans la nappe.

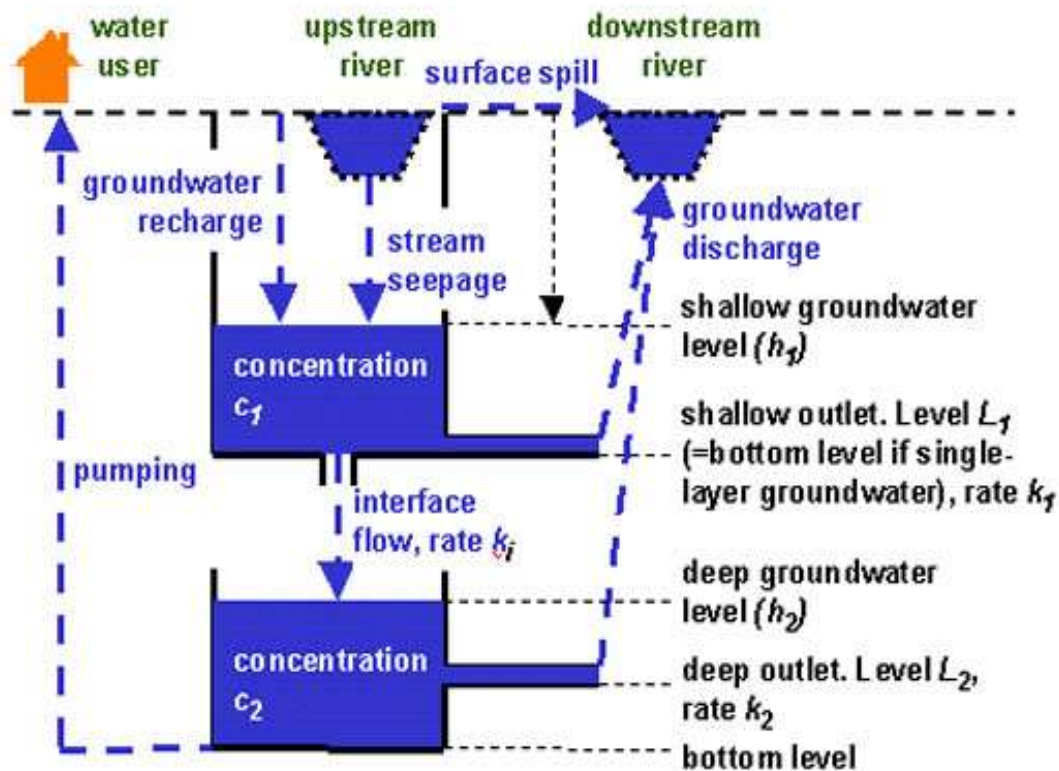


Figure II.4 modélisation des eaux souterraine .(DHI, 2006)

II.9.2.2 Délimitation automatique de bassins versants

MIKE BASIN intègre la fonctionnalité d'ArcGIS® de délimitation automatique de bassin versant. Cet outil rend automatique la numérisation de cours d'eau et la délimitation de bassins versants à partir d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain) ou d'un « pseudo-MNT ».

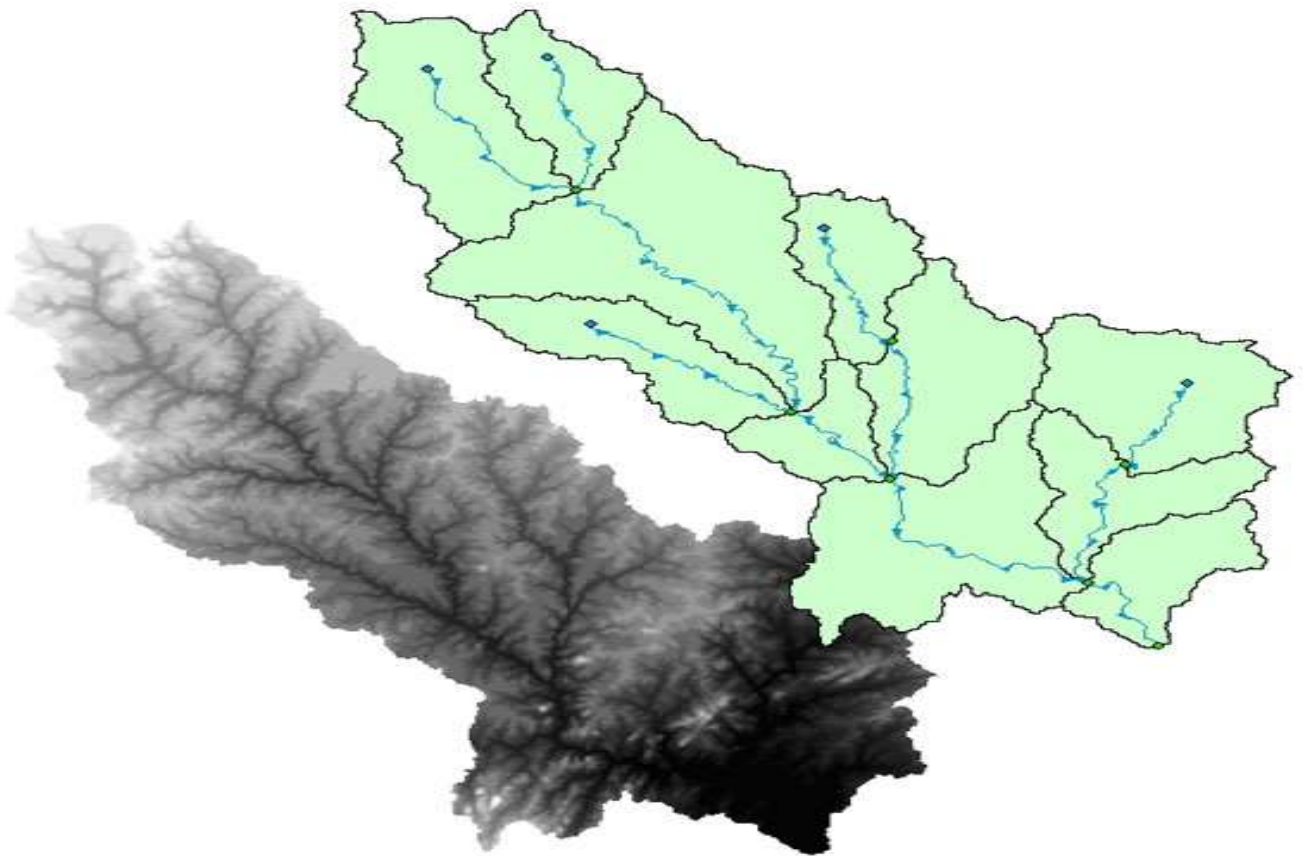


Figure II.5 Délimitation automatique de BV Modélisation hydrologique .(DHI, 2006)

La modélisation hydrologique ou modélisation pluie-débit permet de déterminer le débit ruisselant sur une surface de bassin versant donné à partir de l'information pluie. Ce calcul tient compte des spécificités du bassin versant considéré qui contribue à transformer la pluie en débit : occupation du sol, végétation, pente, nature du terrain...

Cette modélisation est possible sous MIKE BASIN grâce au module hydrologique NAM également disponible sous les logiciels MIKE 11 (modélisation des écoulements en rivière) et MIKE URBAN (modélisation des écoulements en réseaux urbains) également développés par DHI.

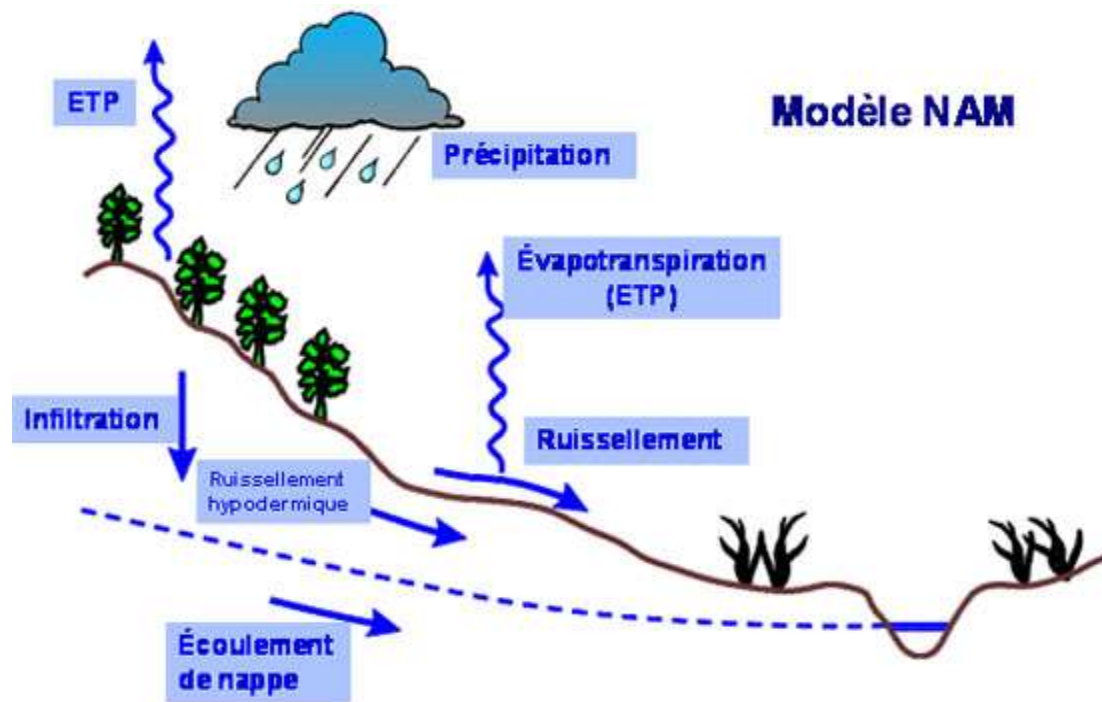


Figure II.6 Modelisation NAM .(DHI, 2006)

NAM permet de modéliser les processus mis en jeu dans la genèse des écoulements à l'échelle du bassin versant. Le ruissellement calculé à partir de données météorologiques est alors directement injecté comme condition amont dans MIKE BASIN.

Le fonctionnement du modèle NAM consiste en une simulation simultanée des niveaux d'eau dans trois réservoirs interconnectés qui caractérisent les éléments du bassin versant :

- Surface du sol ;
- Zone racinaire ;
- Eaux souterraines.

Ces paramètres se basent sur des réalités physiques. Toutefois, il est nécessaire de les ajuster à partir d'une chronique de débits mesurés à l'exutoire du bassin versant considéré.

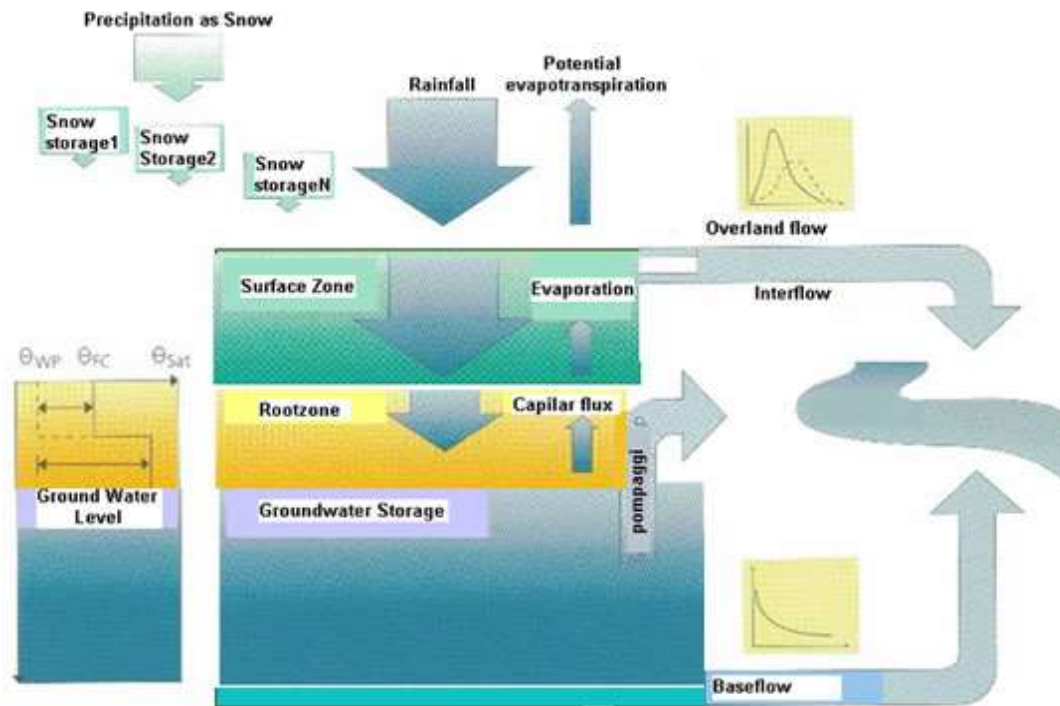


Figure II.7 Concept NAM (DHI, 2006)

II.9.2.3 Qualité des eaux

Le transport et la dégradation de sept charges polluantes peuvent être simulés sous MIKE BASIN : Demande Biologique en Oxygène (DBO), Ammoniaque (NH_4), Nitrates (NO_3), Oxygène Dissous (OD), Demande Chimique en Oxygène (DCO), Phosphore total (P), Azote total (N). Les processus de dégradation des substances ainsi que les réactions chimiques spécifiques. Les pollutions ponctuelles (ex: rejet industriel) et diffuses (ex: produits phytosanitaires) peuvent être modélisées par MIKE BASIN. Pour les pollutions diffuses, MIKE BASIN est capable de calculer automatiquement les charges polluantes à partir de données SIG.

Modélisation sous Mike Basin

Classiquement, les différentes étapes de modélisation sous MIKE BASIN sont les suivantes :

- **Création du réseau**

La première étape consiste à digitaliser le réseau hydrographique étudié. Dans la plupart des cas, une image est importée en arrière-plan selon laquelle l'utilisateur dessine le réseau schématique à étudier. Le schéma peut ainsi être géo-référencé ou non. Des nœuds de bassin versant sont alors ajoutés afin de définir les surfaces d'apports hydrologiques intervenant dans le bilan.

- **Ajout des réservoirs et usagers**

Les réservoirs et usagers (usagers classiques et centrales hydroélectriques) sont alors ajoutés sous forme de nœuds spécifiques. Ces composants entrent en jeu dans la gestion et la répartition de la ressource.

- **Données**

Les données relatives aux différents éléments graphiques sont alors renseignées par simple clics sur le schéma. Les données principales sont les suivantes : surface des bassins versants, ruissellement, demande en eau des usagers, caractéristiques des réservoirs, caractéristiques des biefs...

- **Modélisation pluie-débit**

La donnée de ruissellement peut être directement issue d'une modélisation pluie-débit. Cette étape nécessite l'existence de données météorologiques (pluies, évapotranspiration) et hydrométriques (débits observés en plusieurs points du réseau) suffisantes.

- **Simulation**

Le modèle simule le fonctionnement du système global en réalisant un bilan hydrique dans chaque branche et nœud du réseau. La simulation prend en compte les priorités d'extraction et de dérivation de l'eau définies par l'utilisateur.

- **Visualisation, traitement et analyse des résultats**

Cette étape est facilitée par l'outil Temporal Analyst présenté au paragraphe suivant.

- **Scenarios de gestion future**

A partir de l'analyse des résultats, il est possible de définir des scénarios en vue d'améliorer la gestion de la ressource sur le bassin versant considéré. Les scénarios peuvent être de 2 types : optimisation de la ressource actuelle, aménagements (création de nouvelles ressources...).(DHI, 2006)

II.9.3 Modèle STRATEAU

L'eau est une richesse fragile, encore plus quand elle est peu abondante. Or les pays méditerranéens disposent d'à peine 100 m³ par habitant et par an; c'est dire si elle est un enjeu crucial, humain, financier et de plus en plus stratégique: sa rareté risque, à moyen terme, de créer des tensions entre pays voisins qui se la disputent.

Toute décision concernant sa gestion doit donc prendre en compte l'intégralité des facteurs de l'espace, du temps, et des hommes avec toutes leurs activités.

Les données réunies, STRATEAU élabore les solutions aux problèmes qui lui sont posés, prévoit l'évolution des situations, dans un langage simple et clair. Si bien qu'un junior, grâce à son utilisation, fournit le travail d'un senior.

II.9.3.1 Portrait De STRATEAU

Pour élaborer une juste stratégie de l'eau, STRATEAU est indispensable à toutes les étapes de la décision, du ministre qui travaille à l'échelle du pays jusqu'au maire qui veille sur sa commune. Il s'adapte à toutes les échelles de la décision, nationales et internationales, il répond à toutes les étapes du raisonnement, technique, social, économique et stratégique.

II.9.3 .2 Comment fonctionne STRATEAU ?

Cet outil à la décision est d'une conception extrêmement sophistiquée et d'une utilisation très simple. Il faut commencer par implémenter toutes les données du terrain concerné: physiques, climatiques, sociales, industrielles, agricoles, etc. Informations souvent réparties entre différents organismes qui doivent les mettre en commun. A partir de ces informations, STRATEAU propose des scénarios complets de gestion de l'eau.

II.9.3 .3 Quelles compétences exige STRATEAU ?

Tout spécialiste de l'eau qui sait utiliser un ordinateur peut travailler avec STRATEAU : les données d'implémentation sont enregistrées via une plateforme internet sécurisée. Les résultats sont rendus à l'échelle demandée: bassin, état, région. Plus détaillées sont les données, plus fines sont les réponses. STRATEAU peut travailler aussi clairement à la mesure d'un continent que d'une commune. Après avoir entré les bonnes informations, il suffit de savoir taper les bonnes questions.

II.9.3.4 L'exception STRATEAU

Dans le domaine de l'eau, il existe des outils d'aide à la décision. Ils travaillent ici et maintenant. STRATEAU ne se contente pas de donner une solution à un problème immédiat. Il est essentiellement malléable, capable de projeter ses réponses dans l'espace et dans le temps..

A un moment donné, par exemple, décision sera prise de construire un équipement pour répondre aux besoins d'une petite ville en milieu rural. STRATEAU va non seulement définir les conditions d'une solution adaptée, les impacts sur les territoires voisins, mais en plus, il va en dessiner l'évolution: Quels seront les besoins en eau dans cinq, dix, quinze ans,

compte tenu de l'essor démographique, de l'urbanisation, du réchauffement climatique, de l'augmentation du tourisme, etc . Tous les cas de figure sont envisagés, chacun alimente la stratégie présente : de sa pertinence dépendra le bien-être des générations futures.

II.9.3 .5 Chaque utilisation augmente la performance.

Lorsqu'une mission implémente STRATEAU, les informations récoltées demeurent dans le corpus de l'outil. Au lieu de s'affaiblir au fil de ses utilisations, son cerveau se remplit de chiffres et de faits. Et plus les données sont nombreuses, plus l'analyse s'affine, alimente la rigueur. Chaque fois, le diagnostic gagne en précision. STRATEAU construit des synthèses en puisant dans sa banque de données; elle grandit, grossit, et chaque fois, STRATEAU gagne en performance et en efficacité. (<http://www.ambassade-eau.com/strateau-presentation>)

II.9.4 Modèle MULINO

L'acronyme MULINO signifie «Système d'aide à la décision multisectoriel, intégré et opérationnel pour l'utilisation durable des ressources en eau à l'échelle du bassin». C'est l'objectif principal du "projet Mulino", financé dans le cadre du cinquième programme-cadre européen pour la recherche et le développement et la démonstration technologiques. Le projet a débuté en janvier 2001 et a une durée de trois ans. Jusqu'au 2003, le premier des trois projets intermédiaires prévus des versions de l'outil ont été présentées et la seconde est en cours de développement. Elle incorpore une interface avec les modèles hydrologiques complexes externes qui sont couplés de manière lâche avec le système DSS (Decision Support Systems) .

Le consortium Mulino est composé de spécialistes de la modélisation hydrologique, du développement de logiciels, de l'économie, de la géographie, de la sociologie, de l'agronomie et des SIG issus de divers pays européens et coordonnés par la Fondazione ENI Enrico Mattei à Venise en Italie

Ce DSS intègre des techniques de modélisation sociale, économique et environnementale aux capacités SIG, une base de données géo-référencée et une approche multicritère des résultats de la simulation. De plus, la structure de base de l'outil est basée sur le pilote Cadre pression état-impact-réponse proposé et utilisé par l'Agence Européenne pour l'Environnement.

Le système a été conçu comme un outil opérationnel visant à accompagner et guider les décideurs tout au long du processus de décision, de la conception du problème au choix de la meilleure politique pour le résoudre. En tant qu'expression de cette philosophie, une série d'étapes de décision a été proposée dans le Mulino.

Ce DSS, lui-même, est défini au niveau de l'interface utilisateur par les trois vues conceptuelle, conception et choix

- Dans la vue conceptuelle, le décideur est directement impliqué ; il lui est demandé de définir le problème des ressources en eau et de choisir les critères décisionnels qui seront utilisés pour mesurer et évaluer le statut du bassin hydrographique et l'efficacité de actions conceptualisées pour l'améliorer ;

- Dans la vue Conception, le rôle du technicien est prépondérant en ce qu'il doit mettre en œuvre le problème formulé par le décideur et trouver les solutions pratiques qui constitueront l'ensemble des options possibles à étudier.

- Dans la vue Choix, le décideur conjointement avec le technicien attribue des pondérations aux options afin de sélectionner celle préférée. (Bardraoui, 2019)

II.9.6 Modèle River Basin Simulation (RIBASIM)

RIBASIM est un outil de modélisation avec interface graphique intégrée, utilisé pour la planification et la gestion des bassins hydrographiques, développé par la société néerlandaise Deltares. RIBASIM peut être utilisé pour évaluer le tirage, la production potentielle d'énergie hydroélectrique et la qualité de l'eau. Dans RIBASIM, le modèle est constitué de nœuds et de branches, contrairement à de nombreux modèles pluie-débit qui reposent souvent sur la topographie. (Khoja, 2020).

II.9.7 Modèle HYD 2002

Les développements des interfaces HyD2002 ont été généralisés dans une bibliothèque de classes Java appelée OdefiX. Il est destiné à faciliter la construction et à assurer l'homogénéité des différents environnements de modélisation requis par l'UMR. L'objectif est de pouvoir se concentrer sur la structuration et les fonctionnalités des modèles et non sur les interfaces graphiques ou d'échange de données. L'interface graphique permet de définir les modèles sous la forme d'objets structurés, à partir de tableaux, de graphiques, de cartes, et de

faciliter la navigation entre ces objets. La bibliothèque OdefiX a permis le développement de divers environnements tels que Simulsen Windows, HydroStruct pour étudier la structuration des bassins versants, ZonAgri pour représenter les activités agricoles au niveau régional et tester des scénarios prospectifs pluriannuels de ces activités. Ce dernier logiciel est toujours un prototype.

HyD2002 est un environnement de modélisation pour le support à la gestion des ressources en eau, de la planification à long terme du développement à l'optimisation de la gestion stratégique de l'eau. HyD2002 a 3 fonctionnalités (Pouget et al, 2002).

II.9.7.1 Construction des systèmes d'eau

Ce logiciel permet de construire ou de modifier de manière interactive des systèmes constitués de réservoirs, superficiels ou souterrains, d'éléments de captage et de transport d'eau, naturels et artificiels, d'applications d'utilisation et de consommation d'eau. Chacun des composants peut être décrit plus ou moins en détail. Par exemple, la définition de la demande en eau peut être divisée en différents niveaux de priorité de service. La satisfaction de la demande peut être conditionnée par un indicateur: valeur du débit, niveau du réservoir, etc. (Pouget et al, 2002).

II.9.7.2 Simulation et/ou optimisation de la gestion opérationnelle

HyD2002 est utilisé pour simuler le fonctionnement des systèmes d'approvisionnement en eau à temps et selon différents modes de gestion, en intégrant les priorités d'approvisionnement en eau et les règles de mobilisation des ressources, y compris les réservoirs. Pour tester les instructions de gestion, il est possible de simuler le fonctionnement des systèmes d'approvisionnement en eau, au pas de temps mensuel, de dix jours ou journalier, sur de longues données hydro-climatiques chroniques, considérées comme représentatives. Les instructions de gestion peuvent être modifiées, au fur et à mesure des simulations, pour améliorer la satisfaction des objectifs (Pouget et al, 2002).

II.9.7.3 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 ainsi étudier la fiabilité (nombre de pannes), la vulnérabilité (taille des déficits) et la flexibilité (durée des pannes) des systèmes. Les résultats caractéristiques de chaque composant ou une sélection de

composants peuvent être visualisés. Différentes simulations peuvent être comparées pour évaluer les gains de performance successifs, en fonction du mode de gestion adopté ou en relation avec la programmation des travaux (Pouget et al, 2002).

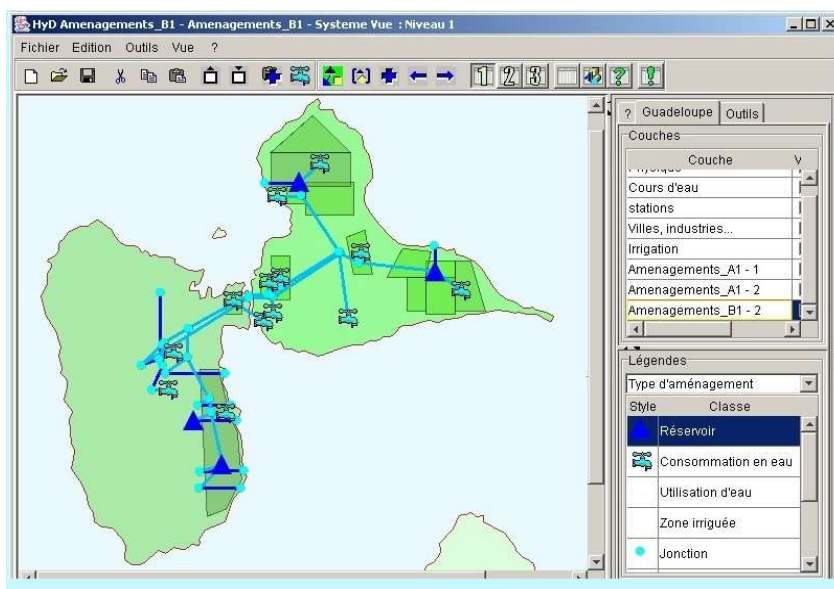


Figure II.7 Interface Modèle Hyd2002 (Pouget et al, 2002).

II.9.8 Modèle Waterware

Waterware aide à la planification et la gestion intégrées des bassins hydrographiques, objectif principal du programme de recherche européen Eureka-EU487. Au sein du projet, le logiciel prototype a été initialement appliqué et testé dans le bassin de la rivière Thames en Angleterre. Puis il a été développé par une série d'applications au bassin de Lerma-Chapala au Mexique.

WATERWARE est l'un des premiers exemples de systèmes intégrant des suites de modèles et des outils destinés à des analyses d'impact complètes.

Parmi les problèmes de ressources en eau abordés par Waterware, il y a :

- Déterminer les limites d'exploitation des ressources en eau disponibles et la planification et le développement de nouveaux dans le temps et l'espace ;
- Évaluer la durabilité du développement de l'approvisionnement en eau dans la mesure où concerne les impacts sur l'environnement;
- Formuler des stratégies pour traquer la pollution dans les rivières et les aquifères et contrôler l'efficacité de la législation environnementale;

Waterware fonctionne avec une variété de conditions géographiques, hydrologiques, météorologiques et données économiques. (Progea S., 2003)

II.9.9 Modèle WEAP 21

Est un logiciel d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) a été initialement développé en 1988 en coopération avec la branche américaine du Stockholm Environnement Institute (SEI-US) où il est encore développé et maintenu aujourd'hui.

La version récente est officiellement WEAP21, donnant des avantages majeurs, les algorithmes de solution en plusieurs sous-modules. Les objectifs de conception déclarés de WEAP21 sont de fournir une ressource en eau intégrée et planifier avec des modélisations hydrologiques, ainsi que des éléments de gestion dans un environnement de planification de scénario inclus (Yates et al., 2005).

une application WEAP21 suit clairement une approche de modélisation conceptuelle en définissant la structure du modèle comme « schéma de modèle » avant toute simulation de modèle. La structure de base se compose d'un système de ressources en eau, de sites de demande et d'éléments de réseau opérationnels en tant que nœuds modèles qui sont connectés par des vecteurs d'écoulement de divers types (par ex. liaisons, débit de retour).

Les bilans hydriques sont calculés pour chaque pas de temps sous la forme d'un bilan de masse linéaire programmé dans les nœuds de bassin versant localisés et les débits résultants sont transmis aux eaux souterraines ou aux éléments fluviaux connectés.

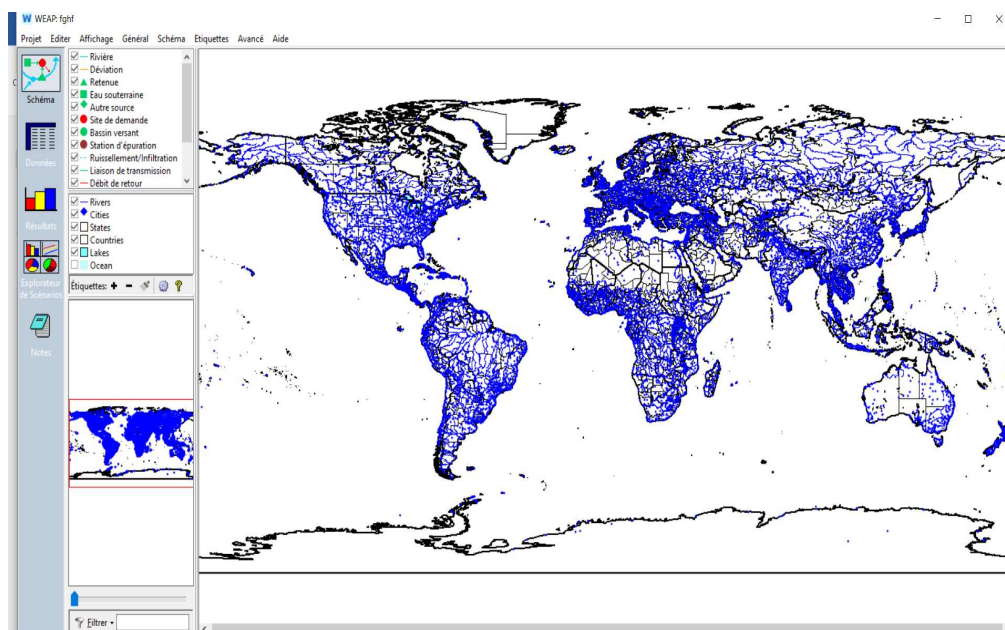


Figure II. 8 Interface Modele WEAP 21

Le modèle conceptuel utilisé pour l'algorithme d'équilibrage utilise des fonctions empiriques pour calculer l'évapotranspiration, le ruissellement de surface, l'écoulement intermédiaire et la percolation profonde (Yates et al., 2005). En définissant des sous-bassins avec des paramétrisations différentielles, WEAP21 peut également être utilisé pour construire au moins des modèles de bassins semi-distribués (Yates & Strzepek, 1998).

II.10 Conclusion

L'intérêt pour les modèles numériques comme support à la décision dans la gestion de la ressource en eau connaît actuellement un essor prodigieux chez les décideurs et les scientifiques de nombreux organismes gouvernementaux et centres de recherche dans 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 en eau (Dupont J. et al., 2016).

La gestion de l'eau implique le développement, le contrôle, la protection, la régulation, et l'utilisation efficiente des ressources d'eau en répondant de manière efficace aux demandes en eau. Avec la concurrence croissante pour l'utilisation de l'eau entre les secteurs et les régions, un bassin hydrographique a été reconnu comme l'unité d'analyse appropriée pour relever les défis de la gestion des ressources en eau.

Après avoir eu une idée générale sur la Gestion intégrée des ressources en eau et les modèles hydrologique utilisé dans le domaine de gestion. La recherche bibliographique, nous a permis de choisir le modèle hydrologique WEAP qui sera présenté dans le prochain chapitre afin de l'appliquer pour notre zone d'étude.

Chapitre III

Présentation De L'outil Informatique De Gestion WEAP

Chapitre III Présentation de l'outil informatique de gestion WEAP

III.1 Introduction

Le logiciel, WEAP est un outil de planification intégrée des ressources en eau pour microordinateurs. Il fournit une structure compréhensive, flexible et d'utilisation facile pour les analyses des politiques de l'eau. Il représente pour les professionnels de l'eau un ajout très utile à leur boîte à outils de modèles, de bases de données, de feuilles de calculs et autres logiciels.

Le logiciel WEAP est utilisé pour la planification et l'exploitation de toutes les ressources en eau que ce soit eau de pluie, eau de surface ou eau souterraine. C'est un logiciel de modélisation hydrologique pour la gestion intégrée et durable des ressources en eau (WEAP, 2008).

III.2 Description du logiciel

Le logiciel WEAP est basé sur une représentation du système hydraulique sous forme de réseau où les différents sites représentent des nœuds, ceux-ci étant reliés par des liaisons de transmissions ou des liaisons de retour (Bouklia-Hassane R, 2011). Le WEAP a été mis au point par le Stockholm Environment Institute (SEI) par les chercheurs : Jack Seiber, Modélisateur de systèmes hydriques ; Chris Swartz, associé de recherche et Annette Huber - Lee, directrice du programme des ressources en eau du SEI (Rakotondrabe F, 2007). Ce modèle permet l'évaluation de la planification et de la gestion questions liées au développement des ressources en eau pour microordinateurs. Il fournit une structure compréhensive, flexible et d'utilisation facile pour les analyses des politiques (Arranz R, 2006) et (Tutorial, 2008). Il se base sur une approche cohérente à l'échelle du bassin (Aichouri I, 2016). WEAP peut être appliqué à la fois aux systèmes municipaux et agricoles et peut traiter un large éventail de questions, notamment : analyses de la demande sectorielle, conservation de l'eau, droits sur les ressources en eau et priorités en matière d'allocation, simulation du débit, exploitation du réservoir, exigences de l'écosystème et coût du projet (Arranz R, 2006).

Un nombre croissant de professionnels de l'eau ont trouvé WEAP comme étant un ajout utile à leur boîte à outil de modèles, bases de données, feuilles de calculs et autres logiciels. Le WEAP est déjà utilisé dans divers pays, des quatre coins de la planète (Tutorial, 2008).

Principaux objectifs du logiciel 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 2008).

Il a pour mission (Hamlat A.E.K., 2014) :

- 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.

III.2 Acquisition Du Logiciel

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur site : <http://www.weap21.org>. Il est fonctionnel excepté que le dispositif « économiser données » . Une version Démo du logiciel est accessible à tout le monde. Par contre, pour le professionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateurs. Pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire par email puis le SEI (Stockholm Environment Institute) envoie par e-mail au demandeur de licence un code d'enregistrement, d'un dur d'une année les instructions pour activer le logiciel WEAP et pour permettre le dispositif à jour.

A noter que le SEI peut publier des travaux de modélisation sous WEAP et souhaite avoir une version de la présente modélisation.

III.3 L'approche WEAP

Le système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) se distingue par son approche intégrée de la simulation des systèmes d'approvisionnement en eau et par son orientation politique. Il place le côté de la demande de l'équation - les modes d'utilisation de l'eau, l'efficacité des équipements, la réutilisation, les prix et la répartition - sur un pied d'égalité avec l'offre - l'écoulement des cours d'eau, eaux souterraines, réservoirs et transferts

d'eau. WEAP est un laboratoire d'examen de stratégies alternatives de développement et de gestion de l'eau (Savoskul O.S et al, 2003).

Opérant avec les principes de base de la balance d'eau, WEAP est applicable aux systèmes municipaux et agricoles, à des zones de planification uniques ou pour des systèmes complexes de rivières à limites étendues. La structure des données et le niveau de détail peuvent être facilement personnalisés pour atteindre les exigences d'une analyse particulière et pour refléter les limites imposées par des données restreintes (SEI, 2008).

Les applications de WEAP incluent généralement plusieurs étapes. La définition de l'étude qui identifie la période de simulation, les limites spatiales, les composantes du système et la configuration du problème. L'Etat Actuel, qui peut être considéré comme une étape de calage dans l'élaboration d'une application, fournit une vue instantanée de la demande en eau actuelle, de la charge de pollution, des ressources et des fournitures pour le système. Les hypothèses de base doivent être construites dans cet Etat Actuel pour représenter les politiques, les coûts et les facteurs qui affectent la demande, la pollution, la fourniture et l'hydrologie. Les Scénarios sont construits sur la base de l'Etat Actuel. Ils permettent d'explorer les impacts d'hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité et l'usage de l'eau dans le futur. Finalement les Scénarios sont Evalués à l'égard de la suffisance de l'eau, des coûts et des bénéfices, de la compatibilité avec les objectifs environnementaux et à l'égard de la sensibilité à l'incertitude dans l'estimation des variables clefs (SEI, 2008).

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 version actuelle de WEAP, il est possible de choisir parmi quatre méthodes pour simuler des processus de bassins versants tels que l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les demandes en eau de cultures (Rakotondrabe F, 2007). On distingue :

- (1) la méthode pluie ruissellement de la FAO (Food and Agriculture Organisation) ;
- (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 ;
- (4) La méthode Mabiha, une nouvelle méthode basée sur la formulation de Cropwater (Hamlat A.E.K., 2014).

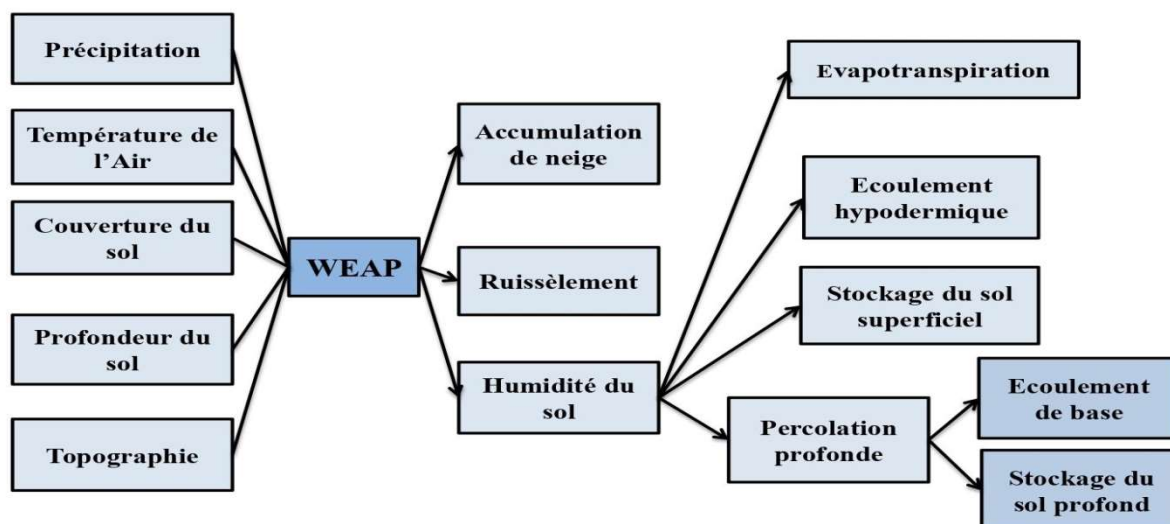


Figure III.1 : Organigramme Pluie-Débit dans Le modèle WEAP (Hamlat A.E.K., 2014).

III.4 Structure du Logiciel

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 dans la figure suivante :

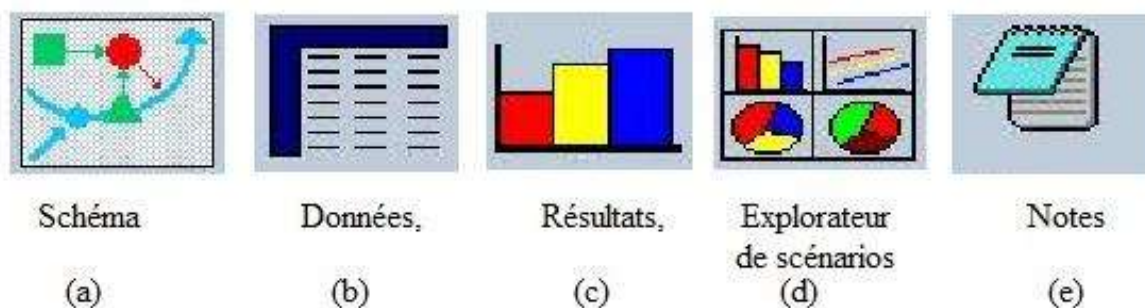


Figure III.2 Les Cinq Affichages Du Modèle WEAP (sei, 2008).

III.5 Cartographie

C'est le point de commencement pour toutes les activités dans WEAP . Elle sert à créer, éditer ou aussi ajouter des couches ArcView ou d'autres SIG standard de la zone d'étude comme couche de fond. Ainsi, on peut accéder rapidement à l'analyse des données et à l'affichage des résultats pour n'importe quel nœud en cliquant sur l'objet qui nous intéresse. Les objets sont montrés dans la 2eme fenêtre gauche avec les signes conventionnels utilisés comme il est montré dans la figure III.3

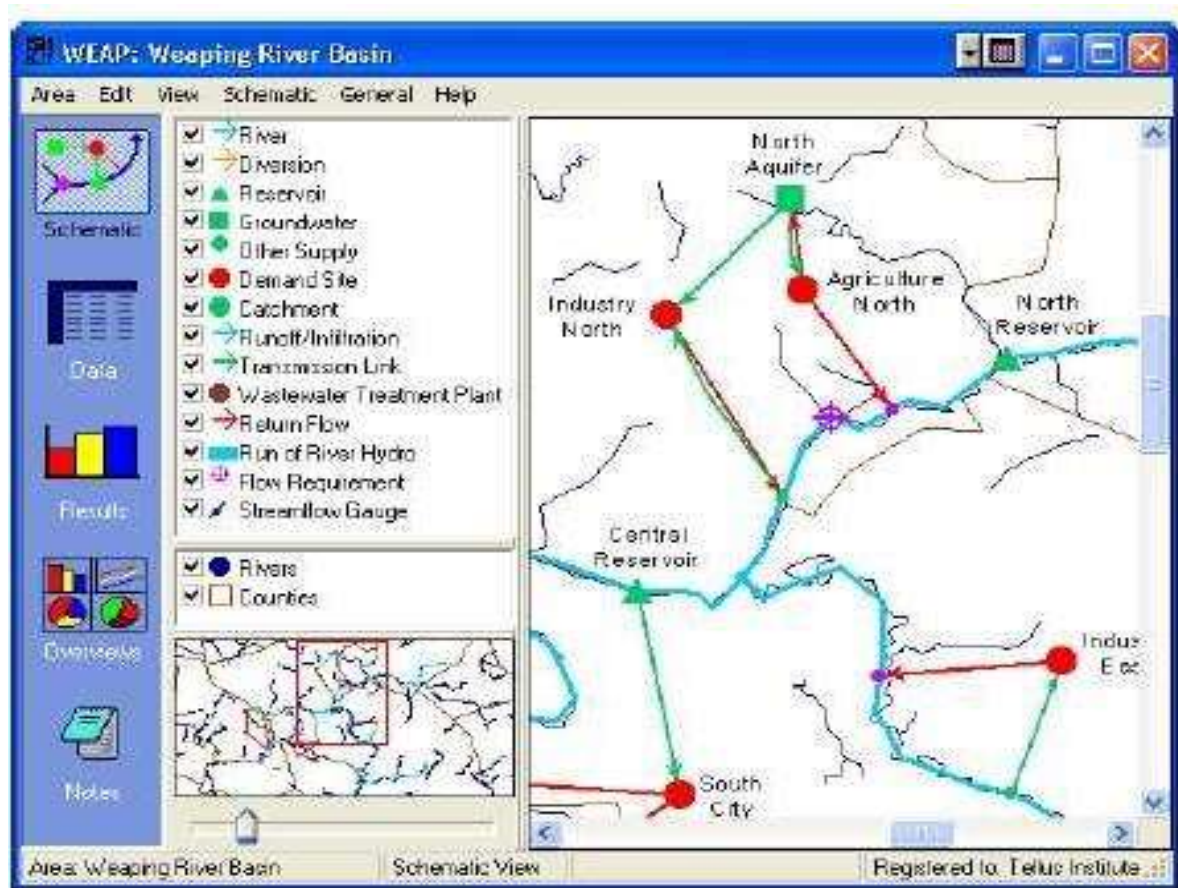


Figure III. 3 : Fenêtre Cartographie WEAP (sei, 2008)

III.6 Base de données

C'est l'endroit pour la création des structures, du modèle et des suppositions de données. Pour l'affichage des données, l'écran est divisé en quatre carreaux (Figure III.4) (Rakotondrabe F, 2007) :

1. Sur la partie supérieure, un lien hiérarchique (menu lien) est employé pour créer et organiser des structures de données dans six suppositions principales : principale clé, sites de demandes, hydrologie, approvisionnement et ressources, qualité de l'eau et d'autres suppositions.

Par exemple, cliquer sur « site de demande » la branche lien du côté gauche de l'écran, les données pour tous les emplacements de demande apparaissent sur le côté droit de l'écran.

- 2- Sur la gauche inférieure, un schéma du secteur apparaît. En cliquant sur l'élément qui apparaît sur le schéma, il sera accentué dans le lien et des données seront montrées dans les tables de saisie de données vers la droite. Quand on clique sur une branche dans le lien, l'élément associé clignotera brièvement.

- 3- Sur la partie droite supérieure, une table de saisie de données apparaisse.

Cette table sert à écrire les expressions qui définissent les comptes courants, pour éditer des données et pour créer le modèle des rapports.

Au-dessus de ce tableau de saisie de données, il y a un ensemble de boutons donnant l'accès aux différentes catégories de variables liées à chaque branche.

4- Au-dessus tableau de saisie de données, un cadre de résultats apparaît, il représente graphiquement les données saisies dans la table de saisie de données.

Sur le côté droit, il y a une barre d'outils pour changer la forme du diagramme (couleurs, effets 3D, grilles, nombre de positions décimales, etc...)

Les données numériques peuvent être transférées directement dans Microsoft Excel.

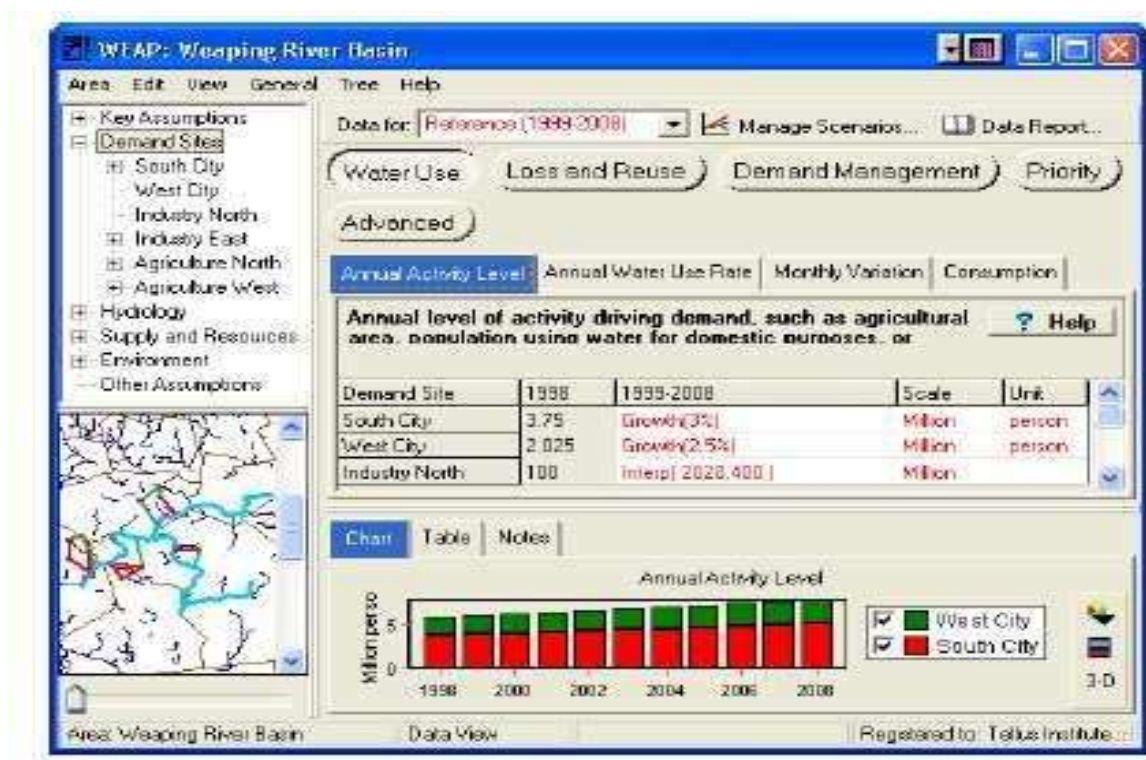


Figure III.4 Fenêtre Basse De Données.

III.7 Présentation des résultats

C'est le menu qui permet d'afficher de façon détaillé et flexible toutes les sortes de modèles dans les diagrammes, les tables et le menu schéma. Cette présentation peut montrer une grande variété de diagrammes et de tables couvrant chaque aspect du système : demandes, approvisionnement et chargements environnementaux. Les résultats peuvent être exportés dans l'Excel

Tableau III. 1 : Sorties Du Modèle WEAP (Droogers P Et Al, 2011).

- Résultats - Approvisionnement - les ressources	- Résultats de captage - Résultats (méthode FAO)	- Résultats de la qualité d'eau
Entrée dans le bassin Sortie du bassin Rivière - Débit - Débit jaugé (absolue, %) - Stade - Vitesse - Porté (longueur) - Eaux souterraines - Stockage - Entrée et sortie - Débordement - Hauteur dessus de la rivière - Sorties à la rivière - o Réservoir - Volume de stockage - Altitude de stockage - Entrées et sorties - L'hydroélectricité - o Liaison de transmission - Débit (Entrées et sorties - o Autres alimentations - Entrées et sorties - o Lien retour - o Débit (Entrées et sorties	Résultats (méthode FAO) - Les eaux de ruissellement par rapport aux précipitations - Précipitations observées - L'infiltration / ruissellement de débit - ET Potentiel - ET Actuel (y compris l'irrigation) - HE Déficit - Rendement total - Valeur marchande totale - o Résultats (méthode de l'humidité des sols) - Classes de sols (entrée-sortie) - Précipitations observées - Accumulation de neige - Infiltration / ruissellement - Précipitations efficaces mensuelles pour HE - (y compris la fonte des neiges) - Aire, Température, Rayonnement solaire net - Référence PET mensuel - ET Potentiel, ET Actuel (y compris l'irrigation) - L'humidité relative du sol (%) - Débit des rivières sans et avec irrigation	Génération de la pollution - Charge de pollution - Apport en pollution aux stations d'épuration - Entrées et sorties de stations d'épuration - Qualité des eaux de surfaces - Résultats financiers - Rapport coût net - Rapport Valeur actualisée nette - Coût moyen de Rapport sur l'eau - Résultats de la demande - La demande en eau - Exigence d'alimentation - Alimentation délivrée - Demande non satisfaite - Couverture - Apports (demande et sorties) - Débit minimal - Débit minimal Livré - Besoin non comblé de débit minimal - Couverture de flux

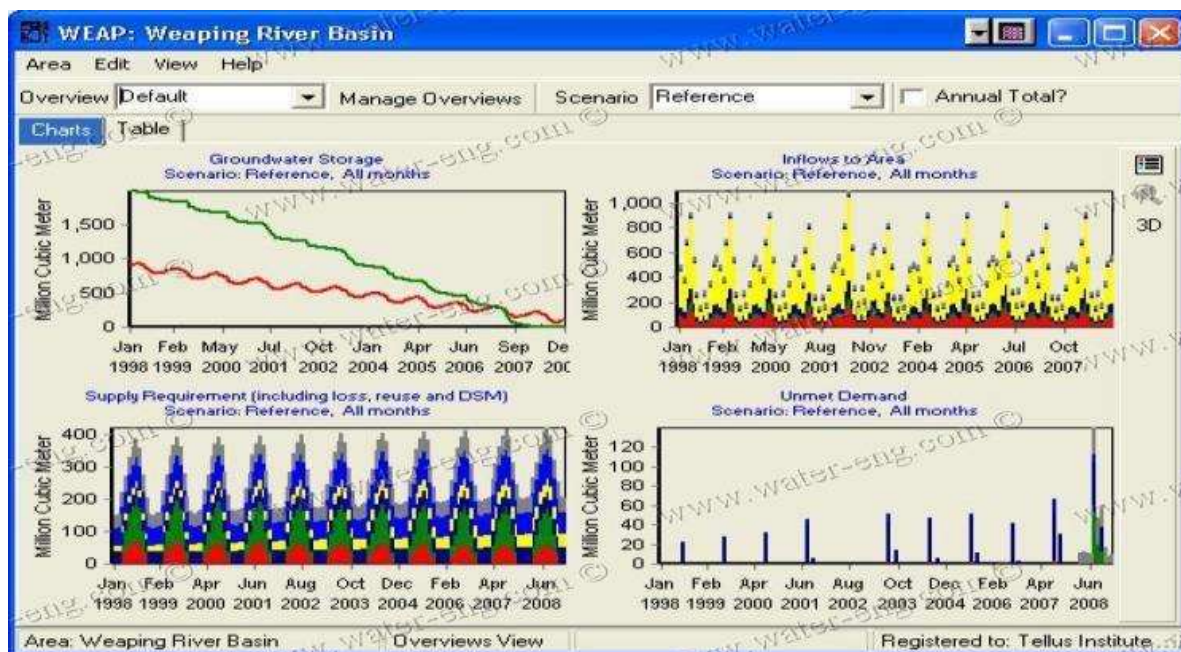


Figure III. 5 Fenêtre Schéma Synoptique Dans WEAP (sei, 2008).

III.8 Représentation graphique

La représentation graphique est employée pour grouper l'ensemble des diagrammes "Favoris" et les tables (créés dans le menu résultat). Avec cette représentation, on peut examiner simultanément les différents aspects importants du système, tels que les demandes, le niveau de stockage, Les graphes peuvent être copiés dans Word.

- **Bloc-Notes :**

L'écran de notes est un outil simple de traitement de texte avec lequel on peut écrire des informations documentaires et des références pour chaque branche du lien. On peut importer les notes vers le texte (Microsoft Word) (Rakotondrabe F, 2007)

III.9 Fonctionnement du modèle WEAP

III.9.1 Créer une zone d'étude

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

III.9.2 Créer les hypothèses clés et références

Puisque le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, et le traitement général de

pollution, la qualité de l'eau, etc.... Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarios.

III.9.3 Hypothèses clés

Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel utilisation d'eau domestique, besoins en eau pour l'irrigation, pourcentage mensuel d'utilisation d'eau domestique, taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur (Rakotondrabe F, 2007)..

III.9.4 Références

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

III.9.5 Proposer des Scénarios

Dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarii pour évaluer les effets des changements socioéconomiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur.

Ces scénarios sont utilisés pour explorer le modèle avec une large série de préoccupations, telles que :

- Qu'arrive-t-il si la croissance de population et le développement économique suivant un certain changement ?
- Qu'arrive-t-il si des règles d'exploitation de réservoir sont changées ?
- Qu'arrive-t-il si des eaux souterraines sont exploitées d'une façon optimale ?
- Qu'arrive-t-il si la préservation de l'eau est imposée ?
- Qu'arrive-t-il si des conditions d'écosystème sont strictes ?
- Qu'arrive-t-il si de nouvelles sources de pollution de l'eau sont ajoutées ?
- Qu'arrive-t-il si un programme conjonctif d'utilisation est établi pour stocker l'eau de surface excédentaire dans les couches aquifères souterraines ?
- Qu'arrive-t-il si le changement de climat change la demande et la ressource ?

III.10.1 Saisir les données

Pour saisir les données deux façons très simples sont à appliquer :

- ✓ En faisant un clic par la droite après avoir créé les éléments dans la zone d'étude (placer les emplacements urbains, industriels, élevages,.....) ;
- ✓ En passant dans le menu d'affichage de la base de données.

III.10.2 Présenter les résultats

Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau. On aura deux résultats comparés : les résultats de l'année de référence et de l'année du scénario (Benbouziane Z, 2016).

Le fonctionnement du logiciel peut être représenté par le diagramme ci-dessous. Le fonctionnement du logiciel peut être représenté par le diagramme suivant :

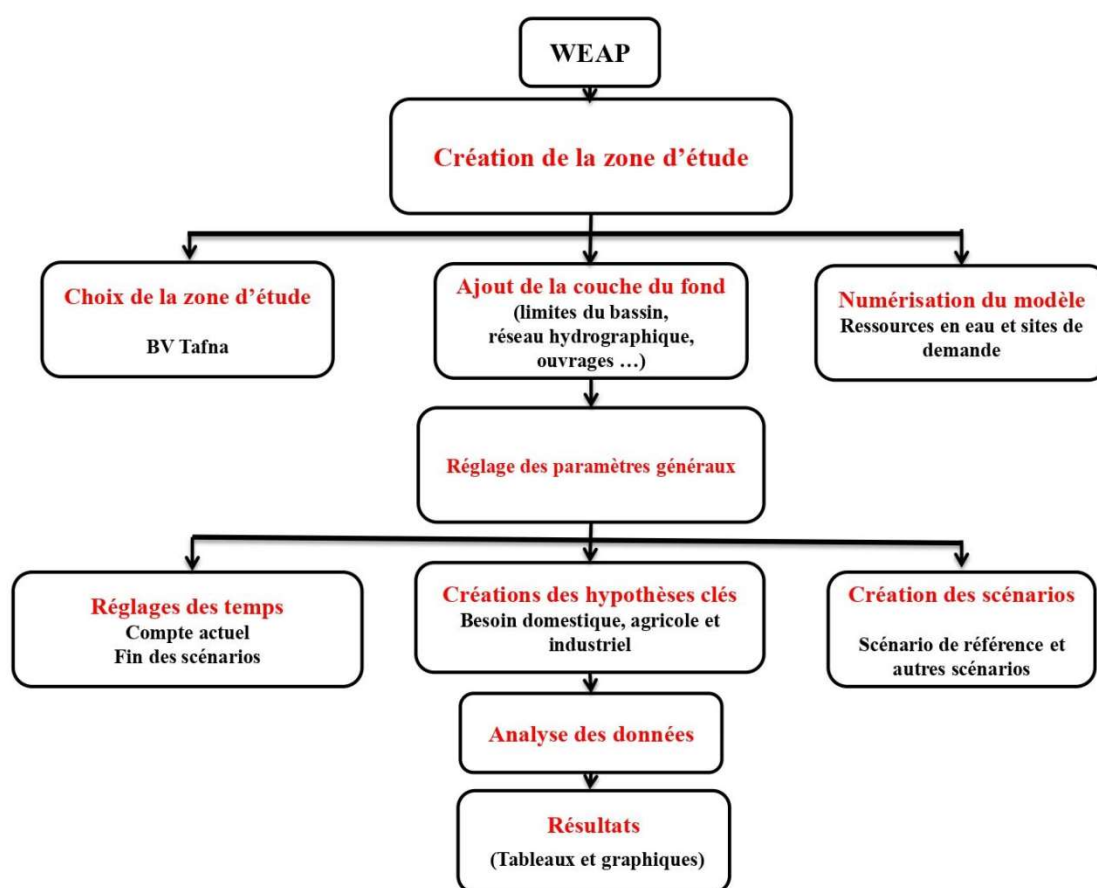


Figure III. 6 Organigramme du fonctionnement du Logiciel (Benbouziane Z, 2016).

III.11 Données nécessaires

Les données sont différentes suivant l'étude que l'on veut réaliser :

- **Etude de l'offre et de la demande en eau**

Pour l'étude de l'offre et de la demande ou l'étude de l'approvisionnement en eau, les principales données nécessaires sont la quantité d'eau domestique utilisée, la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation, la quantité d'eau utilisée pour l'élevage, les nombres ou effectifs

d'utilisateurs (population...), la surface cultivée, les précipitations, l'évapotranspiration, les débits.

Ces données supposées englobant d'une part, les ressources en eau et d'autre part, les principaux usagers de l'eau, nous permettent de faire une modélisation simple de la gestion de l'eau, l'établissement des priorités à l'attribution de demande. La prise en compte des données sur les autres utilisateurs comme l'industrie, l'exploitation minière, le tourisme et autres rend la modélisation plus proche de la réalité (Benbouziane Z, 2016).

- **Etude de la qualité de l'eau**

Dans cette étude, on peut modéliser les polluants en les classant en deux types : polluants conservateurs et polluants non conservateurs. Un polluant est dit conservateur s'il n'y a aucun affaiblissement de ses constituants. Par contre, il est non conservateur si ses constituants se délabrent selon une fonction d'affaiblissement exponentielle. Quand on fait la modélisation de ce polluant, on saisit aussi les données sur le taux quotidien d'affaiblissement de l'élément polluant à modéliser. Les polluants conservateurs sont modélisés par un bilan de matières simples ou constituantes chimiques de l'eau. Par contre, plusieurs modèles peuvent être offerts pour les polluants non conservateurs. Le modèle nécessite des données entrantes sur la qualité de l'eau (de surface et souterraine), des données sur la pollution pour l'emplacement de la demande (eaux usées domestiques), des données sur les eaux usées par des usines et eaux résiduaires.

- **Etude hydrologique**

Dans ce module, WEAP permet de faire:

- La modélisation de captage par le modèle d'écoulement et de précipitations ou par le modèle d'humidité du sol ;
- La simulation sur l'interaction d'eau de surface - eaux souterraines. Les données nécessaires sont surtout des données climatiques comme l'évapotranspiration potentielle ou réelle (ETP/ETR), précipitations (P), écoulement (R) ou débit (Q), humidité (H), infiltration (I).

A noter que dans le logiciel, il existe déjà un modèle nommé « Méthode de l'année hydrologique » qui permet de faire une simulation de l'effet du changement climatique sur les ressources en eau. (Rakotondrabe F, 2007)

III.12 Choix du modèle

Le choix de tel ou tel modèle reste toujours une étape sensible même si certains mécanismes et processus ont été mis en évidence par l'analyse des phases hydrologiques notamment. En effet, d'après la communauté hydrologique le « meilleur » modèle n'existe

pas, tout dépend en fait des objectifs et du contexte de l'étude, d'autre part, le choix d'un modèle doit prendre en considération les points suivant (Abdelghani Q, 2015) :

- il doit être fondé sur les besoins
- quel résultat veut-on obtenir ?
- à quelle précision
- avec quelle fiabilité ?
- mais aussi sur la disponibilité des données, parce que les bassins versants instrumentés sont rares.

Parmi plusieurs modèles pour la gestion des ressources en eau : Le modèle WEAP a été choisi pour l'élaboration de notre étude, pour les raisons suivante (Benbouziane Z, 2016) (Yerima M, 2017) :

- La mise en œuvre simple pour la planification de la gestion des ressources en eau.
- L'intégration transparente des processus hydrologiques des bassins d'alimentation à la gestion des ressources en eau, qui prend en compte les changements climatiques et également la démarche participative.
- La possibilité, à partir d'une interface graphique intuitive de SIG-base, de fournir des outils simples mais puissants pour construire, visualiser et modifier la configuration.
- La flexibilité en termes des données, où pour n'importe quel composant, elles peuvent être éditées directement en cliquant sur le schéma.
- L'utilisateur peut consulter le dispositif d'aide n'importe où dans WEAP.
- L'assistant, les messages de sollicitation et les messages d'erreur fournissent le conseil dans tout le programme.
- Avec WEAP, le système de rapport fortement flexible et complet, l'utilisateur peut adapter des rapports aux besoins de l'opérateur en choisissant les unités de l'eau, les années et le format métriques ou anglais (par exemple niveaux, parts de pour cent ou taux de croissance absolus).
- Des configurations spécifiques de rapport peuvent être sauvegardées en tant que " favoris, " qui peuvent être combinés dans des vues panoramiques " vues d'ensemble " des indicateurs principaux de système. Toutes les tables peuvent être exportées directement dans « Excel ». Les calculs du modèle se font en minutes.

Un autre avantage, qui n'est pas des moindre, c'est que le WEAP est sous licence gratuite pour les organisations à but non lucratif, gouvernementale ou universitaire basée dans un pays en voie de développement comme l'Algérie, cette licence est supportée avec des mis à jour qui améliorent les fonctionnalités du modèle.

Le Système d'évaluation et de planification des ressources en eau (WEAP) durant les dernières décennies, une approche intégrée de développement de l'eau avec une vision globale tenant compte de la demande, de la qualité et de la préservation des écosystèmes est apparue. Sur la base de cette approche, un modèle baptisé WEAP (Water Evaluation and Planning System) intégrant ces valeurs dans une approche intégrée de gestion a été développé (Droogers P et al, 2011).

III .13 Conclusion

Après l'aperçu général de l'outil informatique choisie pour le cas de notre application « WEAP » qui est destiné à la gestion des ressources en eau. Il est a noté que plusieurs données ne peuvent être collecté suffisamment, la raison pour laquelle notre analyse s'articulera sur la demande et la non satisfaction en eau des sites de demande.

Chapitre IV

Présentation de la zone d'étude

***Chapitre IV* Présentation de la zone d'étude**

IV.1 Introduction

Le présent chapitre est consacré à la présentation globale de la ville de Béchar, on présente la situation géographique de la zone d'étude, leurs aspects géologique, hydrogéologique et climatologique, avec les ressources hydriques de la ville de Béchar et la situation des rejets d'eaux usées afin de mettre en évidence l'intérêt de cette étude.

IV.2 Cadre administratif de la wilaya de Béchar

La wilaya de Béchar est l'une des plus grandes wilayas du Sud (Figure IV.1), elle s'étale sur une superficie approximative de 50050 Km². Elle se situe dans le Sud-ouest du territoire national.

Elle est limitée :

- Au Nord par les Wilayas de Naâma et le royaume du Maroc
- A l'Ouest par le royaume du Maroc
- A Sud-est par la Wilaya de Béni Abbes
- De l'est El Bayadh

La Wilaya de Béchar compte vingt et un (11) communes et (6) daïras, avec une population de 297482 habitants (2020). (D.P.S.B)

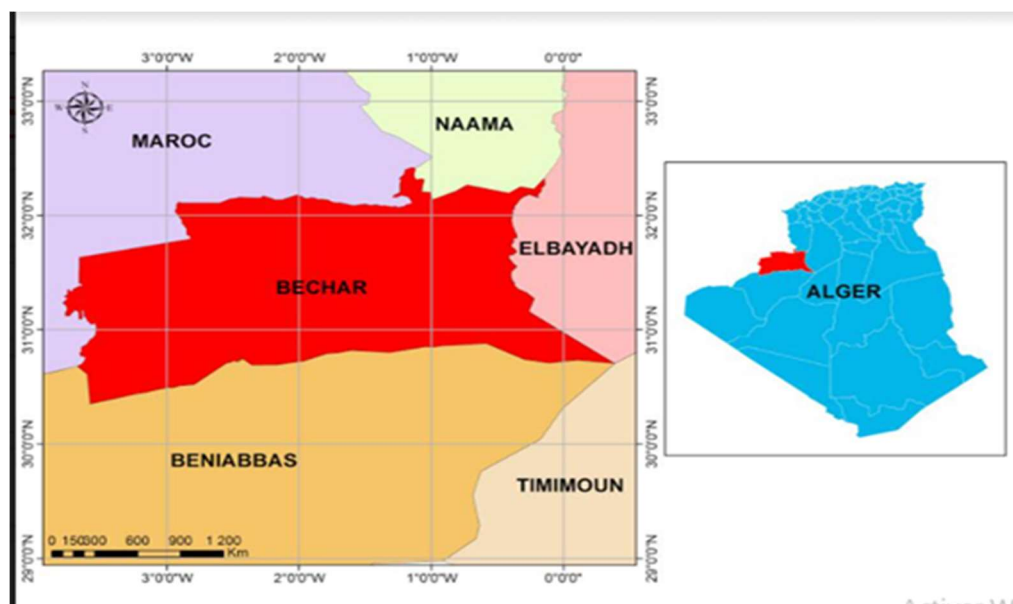


Figure IV.1 Cadre administratif de La wilaya de Béchar

IV.3. Situation démographique

La commune de Béchar présente presque 62% de la population totale de la wilaya. En 2014, elle compte environ 199600 habitants. La population projetée est calculée à la base d'un taux d'accroissement annuel de 2.2% (DPSB Béchar). Soit une densité de 1.96 habitant/km². Sont actifs, principalement dans l'administration et le commerce local. L'industrie est une activité rare, alors que l'agriculture commence à prendre un élan considérable, surtout avec le lancement du programme national de développement de l'agriculture, et la mobilisation des ressources superficielles et des nappes phréatiques.

IV.4 . Situation agricole

La wilaya de Béchar dispose d'une superficie agricole totale estimée à environ 138 400km², répartie entre les terres de parcours (138.190 km²) et une superficie agricole utile estimée à 21.000 ha qui représente toutes les caractéristiques d'une agriculture saharienne.

A cela s'ajoute un espace agricole (non oasien) constitué du périmètre de Abadla et des terres agricoles créés dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole lié à la présence de l'eau, le potentiel agricole se localise principalement le long des principaux oueds qui traversent la wilaya (Kendouci et al.,2016)

IV.5 Le couvert végétal

Il est caractéristique des régions arides, on rencontre des armoises (chih) et l'alfa (*Stipa tenacissima*) dans les petites plaines et ils disparaissent progressivement vers le Sud et se remplacent par le Remet (*Holoxylon*). Les arbres et les arbustes sont rares en plaine et ils se localisent en bordure des Oueds, ou dans des dépressions. Il s'agit des pistachiers (*Betoum*) et des oliviers sauvages. En altitude, on rencontre des arbres de Pins, isolés ou regroupés en bouquets. Vers le Sud, dans la région d'Abadla - Menouarar, la couverture végétale est quasi nulle, limitée aux lits des Oueds, des acacias (*Talha*), à certains flancs dunaires, où poussent des graminées notamment le « drine » (*Aristida, pyngens*) et, à des cuvettes circulaires dans la Hamada, où l'on rencontre des curieuses salsolacées, connues sous le nom de champignon de Bouamama (*Anabasis aretioïudes*). Cependant, lorsque l'année est pluvieuse, la région se recouvre d'un pâturage abondant et varié, où les nomades s'installent occasionnellement (Boufeldja, 2013).

IV.6 CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les formations plus importantes de point de vue hydrogéologiques sont :

- Le cambro-ordovicien
- Le Viséen
- Le Namurien
- Le Westphalien
- Jurassique
- Turonien
- Crétacé inférieur
- Le Quaternaire.

La région est enclavée sur le bord sud-est d'une importante entité géologique, dit bassin crétacé d'Er Rachidia– Béchar, qui est à cheval entre le Maroc et l'Algérie et qui s'étale sur plus de 8000 Km². Il est appelé communément le bassin pré- africain. La partie algérienne est connue sous le nom du bassin crétacé de Béchar, d'une superficie de 4000 km² dont la structure est un synclinal allongé Est-Ouest. Ce bassin est limité au Nord par la frontière algéro-marocaine et les massifs carbonifères septentrionaux (Djebel Horreït et Djebel Antar), à l'est par le djebel Béchar, au Sud par la Chebka Mennouna et à l'Ouest par la Hamada de Guir et la frontière algéro-marocaine. Les données de sondages et d'affleurements au niveau d'Ouakda suggèrent que sur un substratum carbonifère repose en discordance angulaire des formations crétacées et tertiaires (Jean ,1969) .

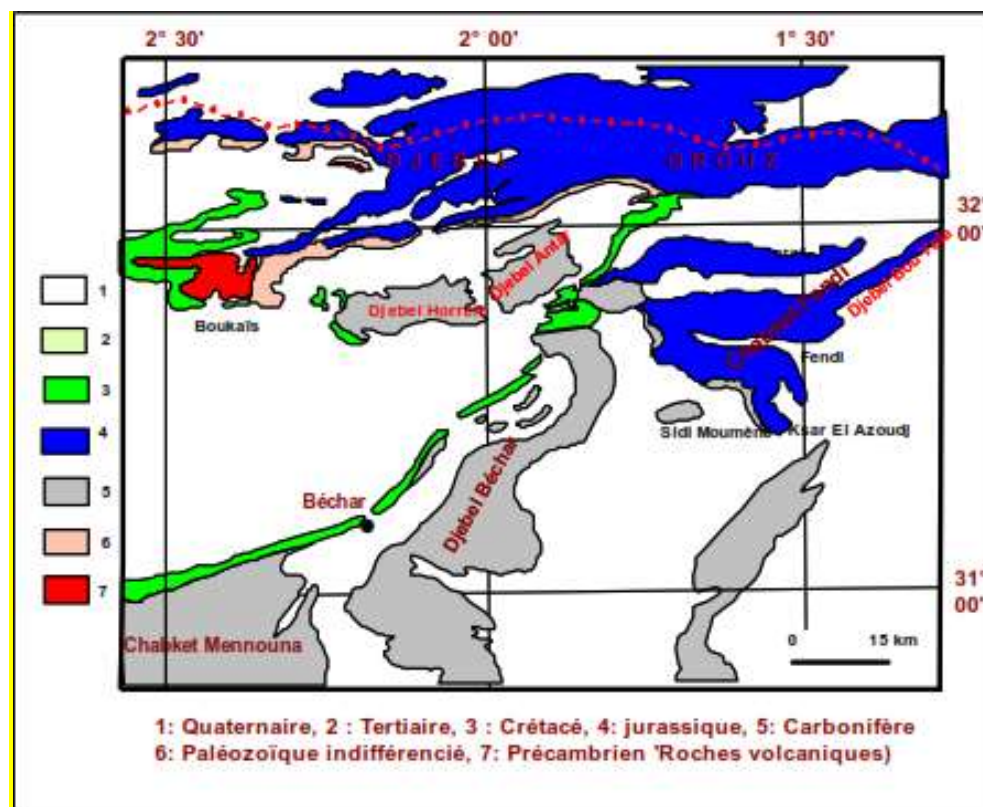


Figure. IV.2 Carte géologique schématique de la région de Béchar (Boufeldja, 2013).

De point de vue géologique le bassin versant de Béchar est constitué de formations carbonifère qui forment le Djebel Béchar à l'Es et la Chebkat-Mennouna au Sud. Les formations du Céno-mano-Turonien forment les deux Bargas, elles sont constituées par des terrains argiloreux sous-jacents à des cuestas calcaires.

Les terrains tertiaires sont principalement constitués de grés, d'argiles et de dalles de calcaires lacustres formant de hauts reliefs (Garet Oum Sbaa, Gara Ziar, seconde Barga). Les terrains quaternaires englobent les Sebkhas, les dunes de sables et les alluvions des Oueds.

Les ressources géologiques du sous-bassin de Béchar sont représentées par le charbon, les argiles, le gypse, l'anhydrite, le sel gemme et les granulats. Ces ressources confèrent à la commune la possibilité de création d'unités de production notamment dans le domaine des matériaux de construction (chaux, plâtre, agrégats, brique...) (Boufeldja, 2013).

IV.7 L'Hydrogéologie de bassin Saoura

De point de vue hydrogéologie, Huit (08) formations géologiques sont susceptibles d'être aquifères, ceux-ci ont été mis en évidence à partir des forages captant et exploitant ces aquifères (Jean, 1963)

1 La nappe du cambro-ordovicien :

Cette nappe est constituée grés quartzites, son épaisseur varie de 80 m jusqu'au 250 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère varie entre 80m et 600 m (moughel). La qualité de l'eau de est entre 1400 mg/ et 2500 mg/l, eau de mauvaise qualité (ANRH) .

On peut capter cet aquifère dans la région Tabelbala, Timoudi ouled Khoudeir et Moughel. Les débits sont faibles varient entre 2 l/s à 6 l/s (ANRH) .

2-La nappe du Viséen : cette nappe est constituée du calcaire, son épaisseur varie de 30 m jusqu'au 60 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère est de 80m. On peut capter cet aquifère dans la région Béchar, et la région de Taghit. Les débits sont faibles varient entre 2 l/s à 5 l/s (ANRH).

3-La nappe du Namurien : cette nappe est constituée du calcaire dolomitique, son épaisseur varie de 50 m jusqu'au 170 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère varie de 200 m à 300m. On peut capter cet aquifère dans la région Béchar, et la région de Taghit. Les débits sont faibles varient entre 2 l/s à 12 l/s (ANRH) .

4-La nappe du Westphalien : cette nappe est constituée du marne et des grés, son épaisseur varie de 80 m jusqu'au 150 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère est de 150m. On peut capter cet aquifère dans la région Lahmer. Les débits sont très faibles(ANRH).

5-La nappe du Jurassique : cette nappe est constituée de calcaire dolomitique, son épaisseur varie de 60 m jusqu'au 300 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère varie entre 100m et 400 m. Le Résidu Sec (qualité de l'eau de) est entre 300 mg/ et 900mg/l, eau de bonne qualité. On peut capter cet aquifère dans la région Moughel, Lahmer et à Beni ounif, mais à beni ounif cette nappe est captée à partir de 650 m. Les débits varient entre 20 l/s à 30 l/s (ANRH).

6-La nappe du Turonien : cette nappe est constituée de calcaire, son épaisseur varie de 50 m jusqu'au 60 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère varie entre 70m et 750 m. Le Résidu Sec (qualité de l'eau de) est entre 500 mg/ et 1200 mg/l, eau de moyenne qualité à bonne qualité. On peut capter cet aquifère dans la région Béchar, Lahmer et à Kenadsa, mais à Lahmer cette nappe est captée à partir de 750 m, dans la commune de lahmer. Les débits sont varient entre 5 l/s à 12 l/s(ANRH).

7-La nappe du Continental Intercalaire : cette nappe est constituée par des formations grés-argileuses. L'épaisseur varie de 70 m jusqu'au 500 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère varie entre 100m et 500 m. Le Résidu Sec (qualité de l'eau de) est entre 500 mg/ et 1100 mg/l, eau de moyenne qualité à bonne qualité. On peut capter cet aquifère dans la région Beni-ounif. Les débits varient entre 10 l/s à 18 l/s (ANRH).

8-La nappe du Quaternaire : cette nappe est constituée par des alluvions des oueds, les évaporites de sebkhas et les dunes de sables. L'épaisseur varie de 30 m jusqu'au 70 m. La profondeur des forages qui captent cet aquifère varie entre 10 m et 80 m. Le Résidu Sec (qualité de l'eau de) est entre 300 mg/ et 2900 mg/l, eau de moyenne qualité à mauvaise qualité. On peut capter cet aquifère dans toute la wilaya de Béchar. Les débits varient entre 2 l/s à 5 l/s (ANRH).

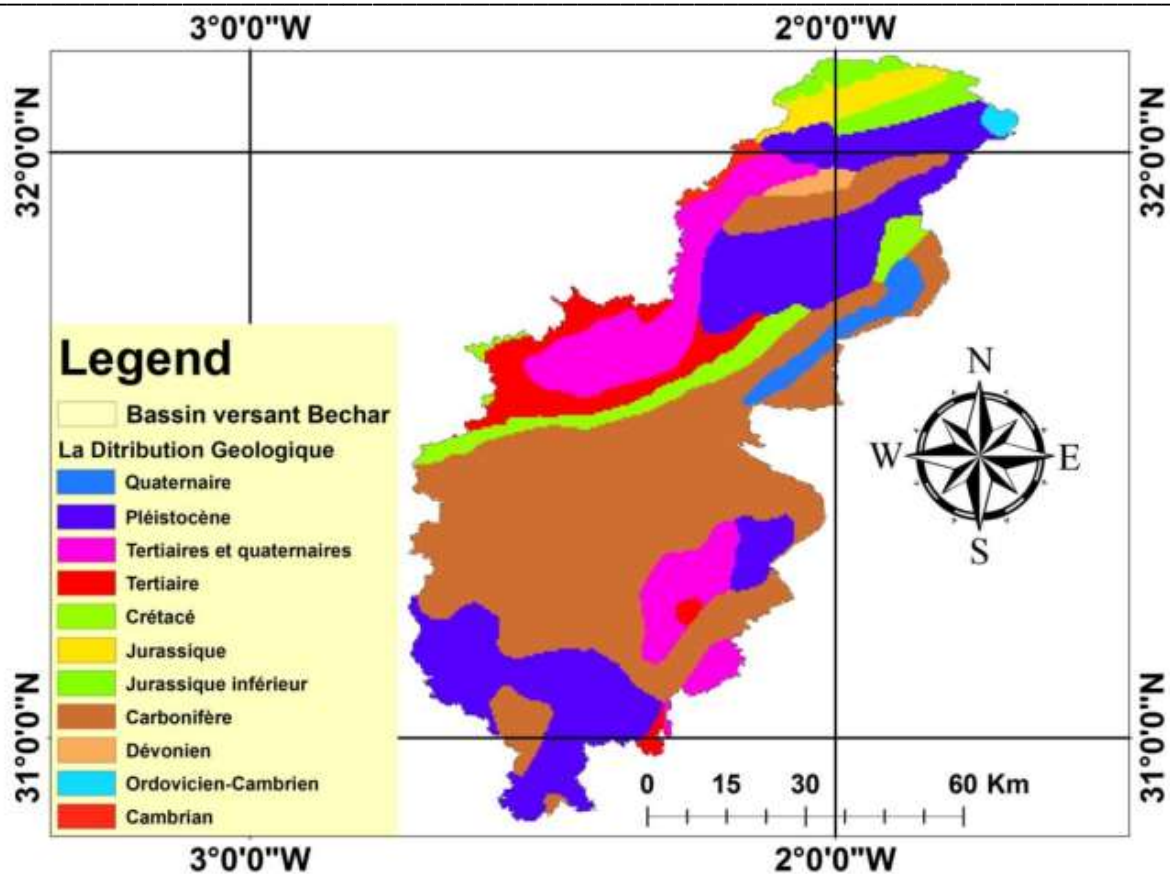


Figure IV.3 Carte géologique du bassin versant de Béchar Extraite de la carte sud oranais
(Boufeldja ,2013)

IV.8 Situation Géographique

IV.8.1 Bassin hydrographique de la Saoura

Le bassin versant de la Saoura, situé au Sud-Ouest du territoire Algérien, s'étend sur la totalité de la wilaya de Béchar. Il fait partie du grand bassin versant de Sahara code ANRH 13

L'oued Saoura commence à Igli au confluent du Guir, Béchar et de la Zousfana, descendus respectivement du Haut Atlas Marocain et de l'Atlas Saharien.

Les écoulements provoqués généralement par les précipitations sur le haut bassin, déferlent plus ou moins loin en aval, beaucoup atteignent une cuvette fermée: la Sebkh el Mellah, par l'intermédiaire de l'oued Es Souireg qui descend vers le Nord-Ouest à la sortie du Foum el Kheneg .

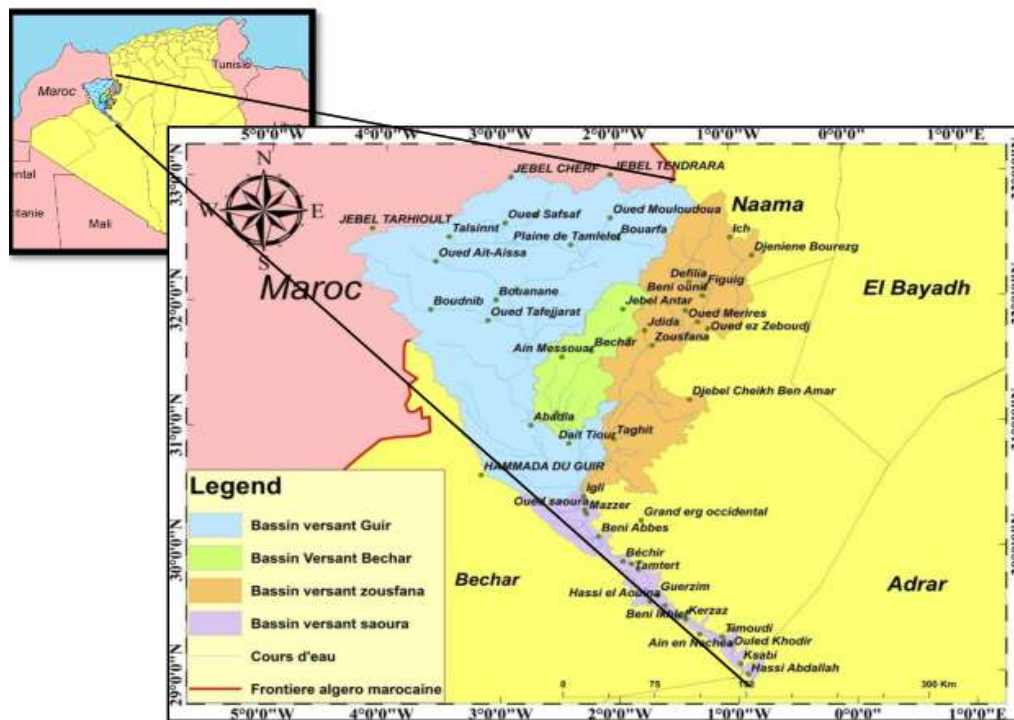


Figure IV.4 situation des Bassins versants de la wilaya Béchar (Bekhira ,2020)

IV.8.2 Bassin versant de l'oued Guir

L'oued Guir de longueur 175km draine un bassin dont la surface avoisine 27000 km² les eaux étaient totalement perdues dans les zones désertiques ou elles provoquaient des inondations et parfois des dégâts aux palmeraies.

Pour une meilleure gestion de ces eaux, et pour but de développer le domaine agricole et industriel de la vallée de la Saoura, un barrage a été construit à Djorf -Torba à 50km en amont d'Abadla. La capacité de ce barrage est d'environ 360 millions de m³.

IV.8.3 Bassin versant de l'oued Zousfana

Cet affluent du Guir prend naissance à l'extrémité occidentale des monts de ksour, par 1600m d'altitude environ. Il descend vers le Sud jusqu'à la région de Taourta. L'oued Zousfana de longueur 174km draine une superficie de 3750km, il est situé au long de l'Atlas Saharien, limite au Nord par les monts de Figuig, au Sud ouest par le djebel Béchar, et Sud par le grand Erg occidental (Yousfi.N).

IV.8.4 Bassin versant de l'oued Béchar

Situation géographique de bassin versant de l'Oued Béchar L'Oued Béchar a de longueur 215km draine un vaste bassin de 6570 km² environ, il est situé au pied du versant Sud de l'Atlas Saharien, limité au Nord par la chaîne montagneuse Djebel Grouz, au Sud Ouest par les montagnes d'Ougarta, et Sud Est par le grand Erg occidental, à l'Ouest par la Hamada de Guir

et à l'Est par la Hamada de Oued Namous. Il prend sa naissance du Djebel Grouz, à une altitude de 1590m il parcourt du Nord-Est au Sud-Ouest des centaines de kilomètres (bekhira,2020).



Figure IV.5 bassin versant de l'oued Béchar

Le tableau ci-dessous représente la répartition hypsométrique du bassin versant de Béchar.

Tableau. IV.1: Répartition hypsométrique du bassin versant de Béchar [ANRH]

Altitude	Surface	Surface en %	Surface cumulée en %
1900-1950	0,55726688	0,008766193	0,008766193
1800-1900	14,6402244	0,23030084	0,239067033
1700-1800	32,0763583	0,504583267	0,7436503
1600-1700	56,5309908	0,889271524	1,632921824
1500-1600	73,153247	1,150751093	2,783672918
1400-1500	70,8456642	1,114451222	3,89812414
1300-1400	106,340309	1,672806497	5,570930637
1200-1300	147,005471	2,312497577	7,883428214
1100-1200	206,820698	3,253432405	11,13686062
1000-1100	369,308997	5,809485559	16,94634618
900-1000	504,125452	7,930241498	24,87658768
800-900	1319,1522	20,75117508	45,62776276
700-800	1007,815594	15,85363527	61,48139803
600-700	1423,795633	22,39728855	83,87868658
520-600	1024,831887	16,12131331	99,99999988

IV.9 Réseau hydrographique

L'oued Béchar qui représente notre zone d'étude, été dans le passé un cours d'eau permanent selon la légende des anciens, précisément au mois hivernale, de plus, il été entouré par une palmeraie, disparu maintenant et ne reste que des traces dans la plaine de Ouakda et quelques palmiers sur les berges. Aussi, dans le passé, l'oued Béchar été constitué d'un écosystème aquatique où la faune et la flore ont été développées. D'après les anciens, il y avait des poissons qui vivaient dans des lacs (Gueltha Hmokaio) créés par la stagnation des eaux de la source turonienne dans l'oued. Les conditions présentes au niveau du périmètre de l'oued favorisent la production de la flore qui enrichie la zone. Parmi ces plantes, on peut citer quelques plantes comme le smmar (*impirata cylindrica*) ; le Diss (*Typhon lotifolia*) et potamogéon nodosus. Les précipitations nettes du bassin sont générées par des effluents qui constituent un réseau hydrographique plus ou moins compliqué (Boufelja, 2013).

La ligne de partage des eaux qui est repérée par les crêtes du Djebel Grouz forme la limite septentrionale qui sépare le bassin versant Béchar aux autres bassins. Dans cette zone, au sud de Djebel Grouz (la partie amont du bassin), dite kodiet haidora, né l'oued Lebiod qui prend son chemin vers l'Ouest et dévie vers le Sud où il rejoint l'oued Diab à Guelb Elharkat, puis, il se raccorde aux effluents provenant du sommet de djebel Horeit, nommée Maedouer mhajib qui passe par Hraddoher.

Les eaux proviennent d'Ain nakhla passe par Ain elkhodir, au cours de leur chemin s'accumule avec les eaux de drainage de djbel Antar jusqu'à la zone où il se retrouve avec Hassi elhouari et H elfaïda. Dans cette zone (la partie médiane), la densité des effluents est grande :

- L'oued passe par toumiet se raccorde avec oued elmtired, oued el ksab et oued tighaline prévenant de djebel Béchar.
- Oued Sfeiah, oued Ben Abid Edahem et des autres effluent prévenant de djebel Horeit.

Les eaux d'accumulation de la partie amont du bassin versant sont conduites vers une seule trajectoire qui passe entre Nif errha et Bzazil Elkalba, où ils sont collectés avec les eaux venant de la plateforme Elgaada (Boufelja, 2013). Cette dernière est une zone très compliquée à cause de sa géomorphologie, idem pour le réseau hydrographique qui est système de drainage mixte entre le bassin versant Béchar et Guir.

Les eaux de drainage s'écoulent dans l'oued qui coupe la plaine d'Ouakda et la ville de Béchar où il prend son nom, puis, ils continuent son chemin vers le sud-ouest où il touche

la limite du bassin versant de Kenadssa (Guelb Elaouda) qui est drainée par l'oued Messouar. Cet oued s'arrête dans Chebkat Menounat. L'oued Béchar collecte l'oued Messouar dans une zone non visible tel que l'état de l'exutoire du bassin où les eaux de l'oued Béchar s'accumule dans Dayet Tyor. Dayet tyor est une dépression pleine de sable au milieu du erg, elle est le trop-plein du bassin, puisque l'exutoire de l'oued Béchar d'une façon directe n'existe pas. Une mesure effectuée depuis le point de confluent du cours d'eau avec le début du Daya, donne une longueur ne dépassant pas les 250 km. Il existe environ 221km jusqu'à djebel Grouz avec une pente moyenne de 4.5 (le profil en long).

La morphologie des lieux, nous permet de penser que l'oued de Béchar était autrefois un effluent du Guir et que son ensablement dans la daya est dû à l'ensablement de la partie finale de l'oued durant une période particulièrement aride.

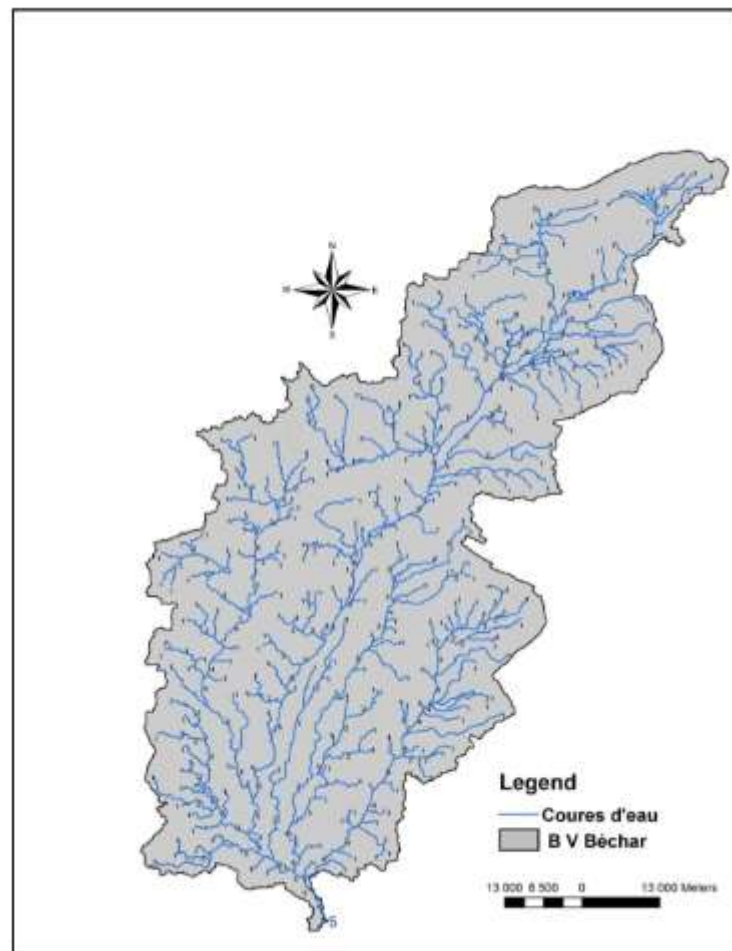


Figure IV.6 Structure du réseau hydrographique et l'ordre des cours d'eau du bassin versant de Béchar (Boufeldja,2013).

IV.10 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BARRAGE DJORF TORBA

Le barrage de Djorf-Torba est situé géographiquement à 50 kilomètres à l'ouest de la ville de Béchar, contrôle un vaste bassin versant subsaharien en tête de la vallée de la Saoura. En chevauchant une partie du haut atlas marocain. Il est limité au Nord par la plaine de Tamlalet et le Haut Atlas, à l'Est par le bassin versant de l'Oued Béchar, à l'Ouest par la Hamada de Guir, au Sud par Chebket Mennouna .

Le barrage Djorf-Torba est situé à l'exutoire du Bassin à la partie haute de l'oued Guir (Kabour,2016).

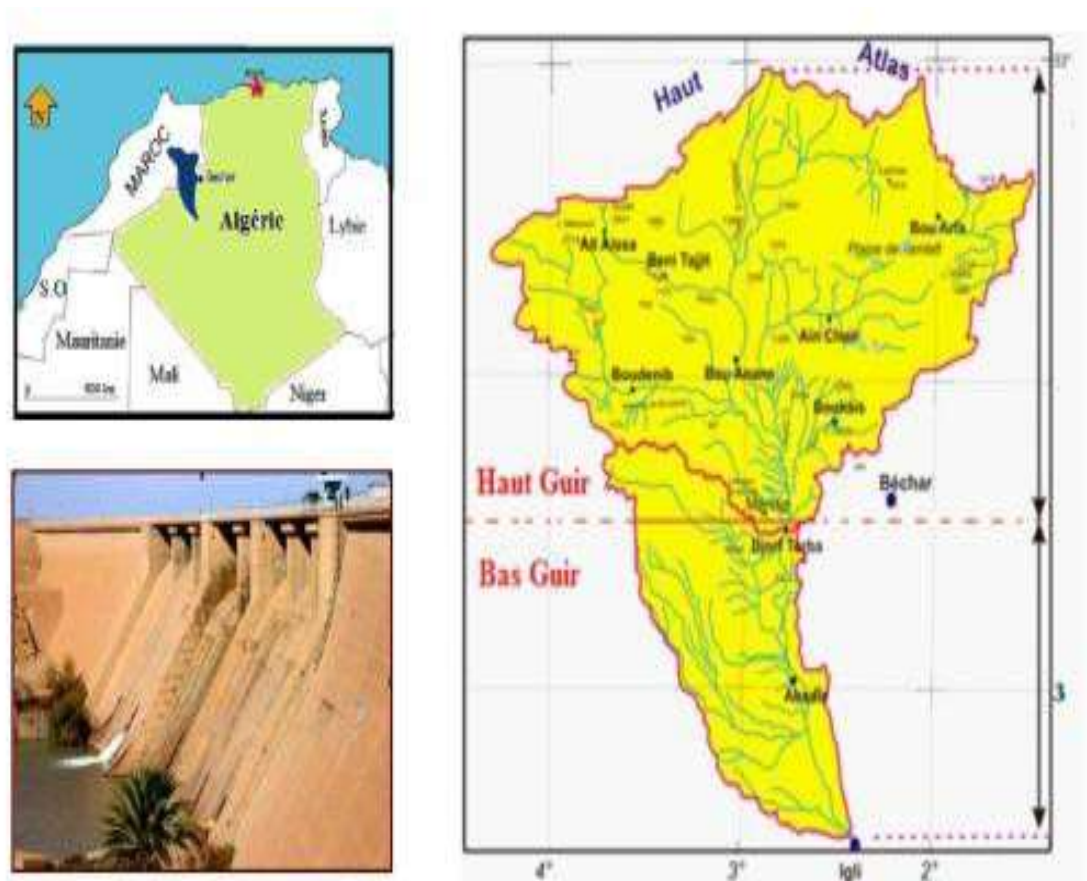


Figure IV.7 Situation de barrage Djorf-Torba, chevelu hydrographique et répartition des stations pluviométriques sur le BV du Oued Guir (Kabour, 2016).

IV.10.1 CARACTERISTIQUES DU BARRAGE DE DJORF TORBA

Le barrage de Djorf-Torba est un barrage en Béton destiné à l'alimentation en eau potable

a. Caractéristiques hydrologiques :

Oued	: GUIR
Capacité initiale	: 350m ³ /an
Apport moyen annuel	: 180 hm ³ /an
Volume régularisé	: 100 hm ³ /an
Surface du bassin versant	: 23887.2 km ²
Capacité à la cote de retenue normale	: 260 hm ³
Capacité à la cote de plus haute eau	: 750 hm ³
Débit maximale enregistré	: 305 m ³ /s

b. Caractéristiques techniques :

Type	: Béton
Hauteur maximale	: 35m
Longueur crête	: 762 m
Largeur crête	: 7 m
Cote retenue Normale (R.N)	: 699 m
Date de mise en eau	: 1969

IV.11 Contexte climatologique

Les conditions climatiques constituent le facteur essentiel intervenant sur le régime hydrologique, par leur répartition mensuelle et saisonnière. Ces différents aspects sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des paramètres physiques climatiques (températures, l'évaporation et l'évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettant une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les facteurs climatiques dans leur ensemble, définit comme des variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large (Paré, 2006).

Une station climatique est implantée dans la ville de Béchar, appartenant à l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) servira de référence, compte tenu de sa

situation dans la zone d'étude et de la fiabilité des données (les mesures étant continues et effectuées par la même agence).

Le Sahara algérien se caractérise par des variations climatiques importantes. L'aridité constitue l'élément central de la spécificité saharienne, elle se définit comme étant le résultat de la combinaison d'une faiblesse de précipitations et l'intensité des phénomènes d'évaporation liés aux fortes températures.

Le climat de la zone d'étude est donné d'après les informations recueillies à partir de la station météorologique de Béchar. L'analyse des différents paramètres climatologiques (P, T°C, ETP, vitesse du vent, etc.) précise le climat qui caractérise la région.

Tenant compte du manque de stations climatiques dans la région d'étude, il a été jugé utile de choisir la station la plus proche. En effet, la station de Béchar est la plus proche et elle se trouve presque sur la même latitude.

Sur le plan climatique, la ville de Béchar se situe dans l'étage à hiver froid. Le maximum de la pluviométrie annuelle moyenne apparaît en octobre sous une précipitation de 21mm, en juillet, le minimum de celle-ci est de 2,3 mm, la précipitation moyenne annuelle devient de 72,97mm, à l'exception la période de crue qu'a connue la ville de Béchar en octobre 2008; pendant laquelle, les précipitations ont dépassé 100 mm.

Tableau IV.2. Caractéristiques de la station climatique.

Station	Code	Latitudes	Longitudes	Altitudes (m)	Paramètres relevés
Béchar	6057100	31°35'53N	02°13'32W	774	T, P, vent, Hr

(ONM, Béchar)

IV.11.1 Paramètres météorologiques déterminants

Pour cette étude, nous avons utilisé les données enregistrées à la station météorologique de Béchar (données recueillies par l'ANRH et l'ONM de Béchar). Les données climatiques sont :

- Les précipitations : pour l'étude de la pluviométrie. Nous n'avons disposé que des données de la station de Béchar sur une période de 2003 à 2014.
- Les températures : nous utiliserons les données de la même station pour la même période.

IV.11.1.1 Pluviométrie

Nous engloberons, sous le terme de précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre. Ce paramètre météorologique constitue la composante fondamentale de l'hydroclimatologie et la connaissance de cet apport d'eau au sol est essentielle pour estimer les réserves en eau du sol et la recharge des nappes souterraines.

1- Variation spatiale

- **Répartitions annuelles des précipitations**

La carte pluviométrique du Sahara Nord-Occidental montre une répartition géographique des précipitations caractérisée par une décroissance de la pluviométrie du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest. La pluviométrie est influencée par l'altitude dans les zones de reliefs élevés.

La pluviométrie varie de 100 mm jusqu'à 20 mm dans l'Atlas saharien, pour notre région d'étude la pluviométrie s'étale entre 30 mm et atteint les 100 mm sur les hauts reliefs.

Le tableau IV.3 montre les variations Annuelles de la pluviométrie à la station de Béchar durant les années 2003-2014.

Tableau IV.3. Pluviométrie annuelles à la station de Béchar série (2003/2014).

Année	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
pluie (mm)	33,6	65,1	85,2	65,6	130,6	105,8
Année	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Pluie (mm)	312,6	99,1	69,7	112,1	103,8	38,1

(ANRH - BÉCHAR)

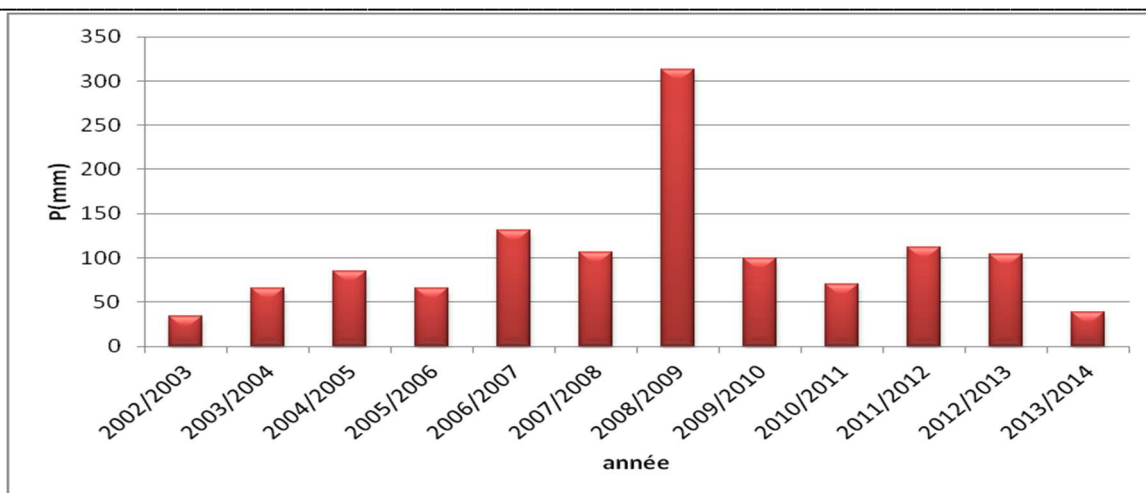


Figure IV.8 Variations des précipitations annuelles en (mm).

Dans la **Figure IV.8**, On remarque que l'année la plus pluvieuse est l'année (2008/2009) avec une valeur maximale de **312.6 mm** et une valeur minimale de **33.6 mm** pour l'année (2002/2003), ainsi que l'année (2006/2007) montre une valeur excédentaire avec (**130.6mm**).

Le tableau suivant représente les répartitions moyennes mensuelles des précipitations de la ville de Béchar durant l'année 2014.

Tableau IV.4. Précipitation mensuelle moyenne à la station de Béchar 2014

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Moy
Pluie(mm)	14.4	27.9	11.1	6.0	6.0	6.8	102
Mois	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Pluie (mm)	10,8	4,9	5,2	4,2	1,6	3,05	102

ANRH - BÉCHAR

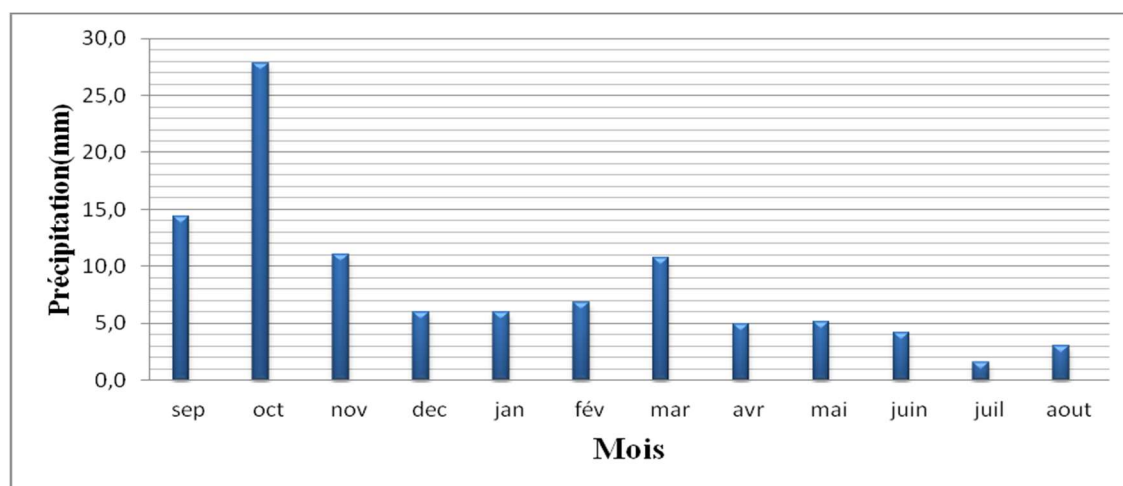


Figure IV.9 Variation des précipitations moyennes mensuelles

On voit bien que la valeur, des précipitations enregistrées, est au maximum (27.9mm) au mois d'octobre et au minimum (1.6 mm) au mois de juillet. Cette région d'étude est caractérisée par deux périodes bien distinctes. La période la plus longue est exprimée de Septembre à Mai, c'est-à-dire celle relativement pluvieuse, tandis que la période la plus courte (période sèche) c'est le reste de l'année.

IV.11.1.2 La température

Une température élevée permettra à la masse d'eau de se réchauffer et d'augmenter l'énergie cinétique de ses molécules. Un plus grand nombre de molécules auront alors l'énergie suffisante pour s'arracher à la surface d'eau (pour s'évaporer). Les tableaux 1 et 2 suivants, nous montre sa variation annuelle et mensuelle.

Tableau IV.5 : Variation annuelle de la température de la région de Béchar (2000-2016).

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Tmax	28.25	29.30	28.57	28.03	27.6	28.58	27.81	28.13	27.41
Tmin	14.65	15.82	15.14	15.42	15.06	15.8	15.60	14.91	14.95
Tmoy	20.95	22.95	22.13	21.94	21.60	22.50	21.91	21.79	21.45
Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Moyenne
Tmax	28.08	29.26	27.91	28.08	28.42	28.69	28.39	29.0	28.28
Tmin	15.0	16.25	15.92	15.01	14.87	15.85	15.32	15.29	15.35
Tmoy	21.78	23.01	21.81	21.88	21.79	22.60	22.09	22.4	22.02

Le tableau ci-dessous représente les températures moyennes mensuelles et annuelles pour l'année 2014.

Tableau IV.6 Températures moyennes mensuelles et annuelles (min, max, moy 2014).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Moy
T°C Min	25,1	18,9	12,3	8,8	7,4	8,9	15,6	18,7	22,2	29,5	34,2	32,9	19,5
T °C Max	30,8	24,5	16,6	13,2	11,6	14,6	19,4	23,5	28,6	33,6	35,8	34,7	23,9
T °C Moy	28,0	21,7	14,5	11,0	9,5	11,8	17,5	21,1	25,4	31,6	35,0	33,8	21,7

(ONM, Béchar)

Le Sahara algérien est caractérisé par des variations climatiques importantes. L'aridité est l'élément central de la spécificité saharienne, elle se définit comme le résultat de la

combinaison de faibles précipitations et de l'intensité des phénomènes d'évaporation liés aux températures élevées. (kendouci et al, 2019)

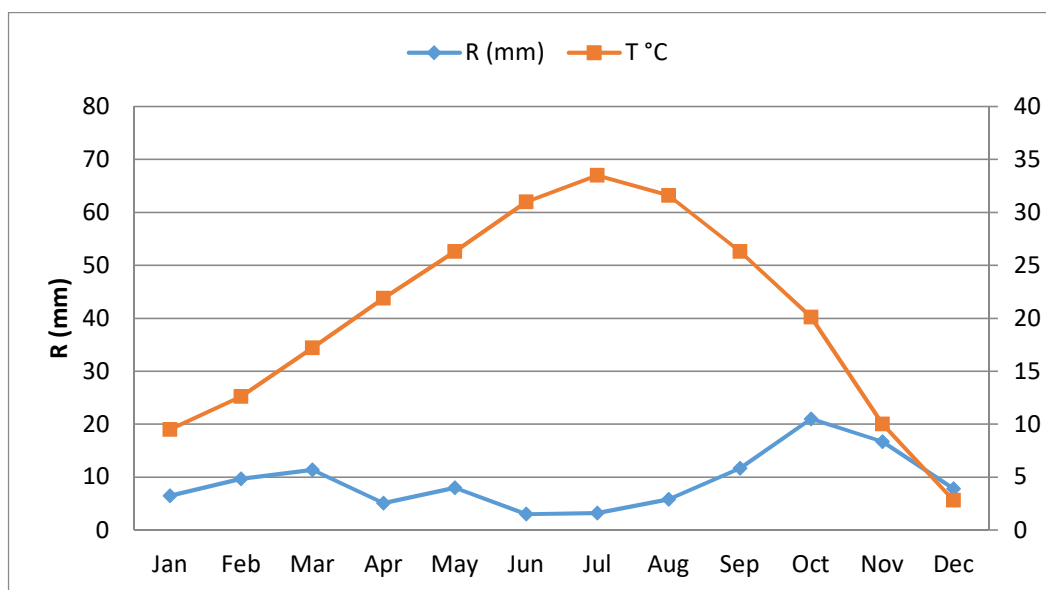


Figure IV.10 : Diagramme ombrothermique de Gaussen la ville de Béchar
(kendouci et al,2019)

IV.6.10.1.3 Le vent

Le vent joue un rôle essentiel sur l'évaporation. En effet, l'air au voisinage de la surface évaporant se sature plus ou moins rapidement et peut arrêter le processus d'évaporation. L'air saturé est remplacé par de l'air plus sec au voisinage de la surface évaporante en raison des mélanges et mouvements créés par le vent.

Les vents les plus violents soufflent et sont fréquents surtout durant la période de février à juin.

Tableau IV.7 Variations mensuelles de vitesse des vents (2000-2014).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(m/s)	2.67	3.37	4.22	5.00	4.98	4.49	4.32	3.94	3.98	3.32	3.12	2.48

D'après le tableau, la vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois d'Avril avec une moyenne de 5 m/s. Le minimum est enregistré durant le mois Décembre avec une vitesse 2.48 m/s.



Figure IV.11 Variations des vitesses des vents et Evaporations moyennes mensuelles dans la Ville de Béchar pendant la période (1985-2014) [ONM]

IV.11.1.4 Evapotranspiration

Ce terme est composé de :

L'évaporation : désigne l'ensemble des phénomènes qui transforment l'eau en vapeur par un processus spécifiquement physique.

La transpiration : est un phénomène biologique lié à la couverture végétale où les plantes qui puisent une partie de l'eau nécessaire à leur développement dans le sol.

En ce qui concerne l'évapotranspiration, c'est la somme de toutes les pertes par transformation de l'eau en vapeur.

Tableau IV.8. Les moyennes mensuelles de l'évaporation (mm) (ONM)

Mois	Sep	Oct.	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Evap.	306,3	219,2	126,3	92,4	105,9	137	227,1	287	358,8	408,8	497,2	444,1	267.6

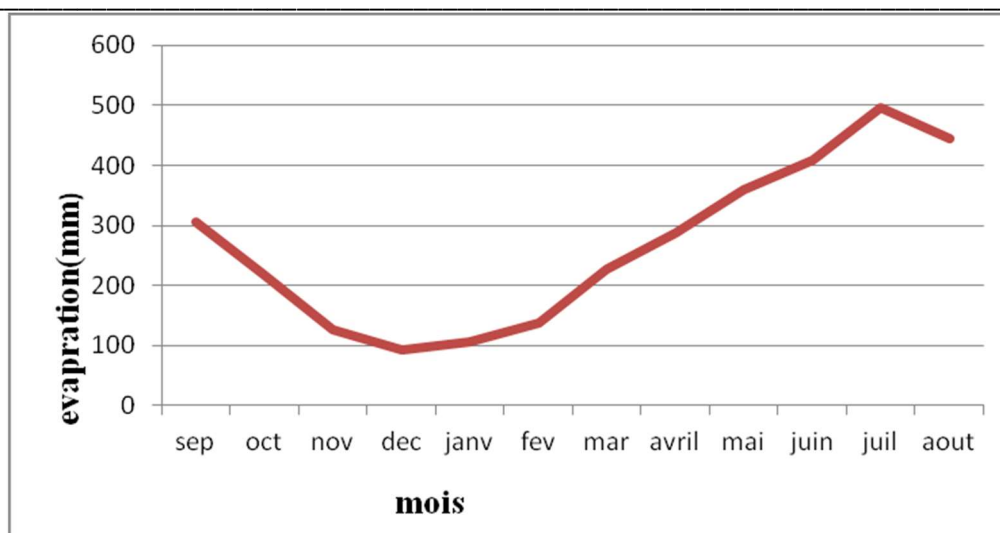


Figure IV.12 Variation mensuelle de l'évaporation période 2014

L'évaporation est très élevée à cause de la forte température ; elle atteint **92.4mm** au mois de janvier et **497.2 mm** au mois juin, la moyenne mensuelle de l'évaporation c'est **267,6 mm**.

IV.11.1.5 Humidité relative

L'humidité relative de l'air (ou degré d'hygrométrie), correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Ce rapport changera si on change la température ou la pression ou les deux.

Tableau IV.9 Les humidités relatives moyennes mensuelles de Béchar (2003-2014)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fév.	Mars	avril	mai	juin	Juil.	Aout	Moy.
H (%)	52,9	62,7	73	80,9	75,6	70,3	57,7	51,2	45,4	39,7	29,7	34,1	56.1

(ONM de Béchar)

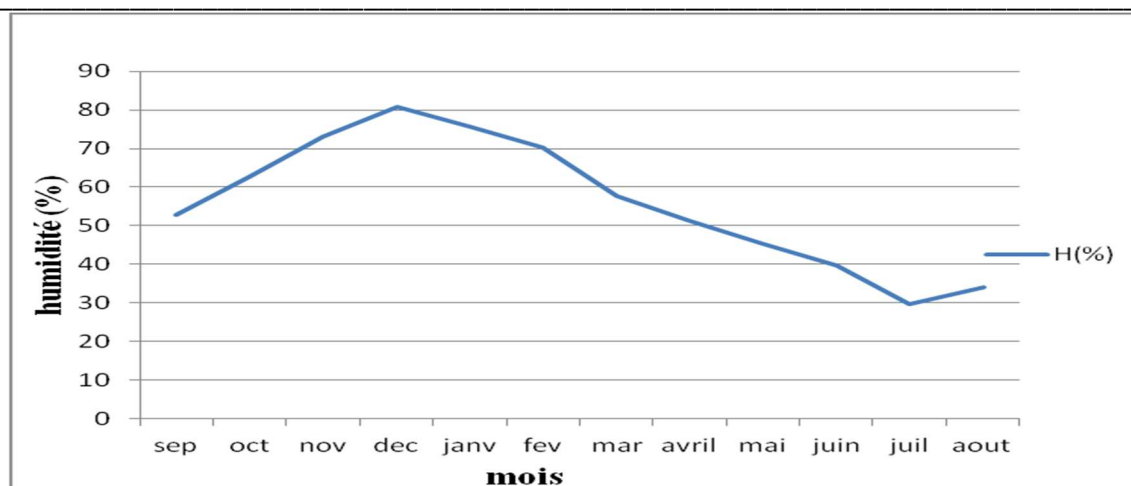


Figure IV.13 Courbe des humidités relatives moyennes mensuelles en % de Béchar (2003-2014).

D'après la figure On remarque que l'humidité relative atteint sa valeur maximale au mois de décembre avec une moyenne de **80.9%**, et une valeur minimale de **29.7%** au mois de juillet, pour la région de Béchar on peut dire que la moyenne annuelle est de **56.1%**.

Juillet est le mois le plus sec par contre le mois de janvier et le mois de décembre sont les mois les plus humides.

IV.12 contexte socio-économique

IV.12.1 Population

- **L'agglomération de la ville de Béchar :**

La population de la ville de BÉCHAR est de 199600 habitants en 2014 selon la DPSB-BÉCHAR.

L'évolution et la progression de la population de la ville de BÉCHAR est calculée sur la base d'un taux démographique de 2.2% est représenté et calculé dans le tableau IV.11

Tableau IV.11 Projection de la population de la ville de BÉCHAR

Horizon	Taux	2014	2020	2030	2060
BÉCHAR	2.2%	199600	227434	282732	436911

Le tableau ci-dessous montre l'utilisation des ressources et estimation des besoins en eau

Tableau IV.11 Potentialités Hydriques Pour L'AEP 2014

Ville	Nombre de population en 2014 Hab	Besoin en eau potable en L/jour/hab
BÉCHAR	199600	180

Le tableau IV.12 fait un aperçu sur les ressources en eau de la ville de Béchar en 2014

Tableau IV.12 : Ressources en eau de la ville de Béchar en 2014

Communes	Forages		Puits		Sources		Barrages		débit total (l/s))
	Nbr	Débit (l/s))	Nbr	Débit (l/s))	Nbr	Débit (l/s)	Nbr	Débit (l/s)	
BÉCHAR	14	155	0	0	0	0	1	416	571

Source ADE

Dans ce tableau IV.13, on a le volume consommé par la ville en Hm³

Tableau IV.13 Volume consommée par mois en Hm³ en 2014

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	oct	nov	dec
Volume consommée par mois en HM ³	0,899	0,812	0,899	0,870	0,899	0,87	0,899	0,899	0,87	0,899	0,870	0,899

Source ADE

La répartition de production d'eau dans l'année de référence 2014 est présenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.14 répartition de production d'eau en 2014

Commune	Production (m ³ /j)	Volume desservi (m ³ /j)	Taux de perte (%)	Besoins théorique actuels (m ³ /j)	Dotation en eau l/j/hab Réelle	Taux de satisfaction (%)
Béchar	38834,7	31067,8	20	45858	180	68

Source ADE

Le tableau ci-contre montre les informations des eaux usées et leurs rejets.

Tableau IV.15 Rejets Eaux Usées 2014

Communes	Volume Rejete (m^3/j)	Nombre Points De Rejet	Point De Rejet
BÉCHAR	30074	1	Oued Béchar

Source ONA

Débit Mensuel à l'entrée du la ville de Béchar en 2014 estimé à $800 m^3/s$ (source ADE)

IV.12.2 Secteur agriculture

La ville de Béchar dispose d'une superficie agricole utile (SAU) estimée à 8885.5 ha (source DRE-Béchar) qui représente toutes les caractéristiques d'une agriculture saharienne.

Tableau IV.16 REPARTITION DES TERRES AGRICOLES 2014 [ANRH]

Commune	S.A.U totale	Pacages et parcours	Terres improductives	Total
BÉCHAR	8885,5 ha	183000 ha	10320 ha	202205,5 ha

Le tableau IV.17 présente les débits de forages destinés à l'irrigation des agricoles à Béchar selon l'ADE

Tableau IV .17 Débits des forages destinés à l'irrigation d'agriculteur à Béchar en 2014

Débit Min	Débit Moyenne	Débit Max
Du 0.5 au 1l/s	5 l/s	Du 15 l/s au 20 l/s

IV.13 Les ressources en eaux de la ville de Béchar

Deux ressources assurent l'alimentation en eau potable de la ville de Béchar; la première provient d'un champ de captage constitué de 8 forages répartis sur 18 km environ à proximité de la route nationale N°6 et d'un forage situé au sud est de la ville, le débit total souterrain a été de $2498271 m^3/an$ en 2015 (ADE, 2016).

La deuxième provient du barrage de Djorf Torba situé à l'Ouest à en environ 45 km où est implantée la station de traitement d'eau potable dont le débit a été évalué de $9633082 m^3/an$ en 2015 (ADE, 2016).

IV.14. Situation des rejets d'eaux usées de la ville de Béchar

D'après la collecte des données du réseau existant recueilli auprès des services

techniques et le diagnostic effectué sur les lieux, on a constaté que le réseau d'assainissement présente les caractéristiques suivantes :

- Type séparatif d'écoulement gravitaire
- Pas d'équipements (station d'épuration, station de relevage).
- Les eaux pluviales convergent par gravité en plan nature vers l'oued.
- Les eaux usées convergent directement dans Oued Béchar sans épuration ce qui provoque la pollution de l'environnement et par suite la contamination des nappes phréatiques.
- Suite à une pluie, le réseau d'assainissement de quelques quartiers a été amené à refouler les eaux usées dans nature (il est fait mention l'absence de réseau pluviale).
- Les eaux usées de la ville sont drainées par deux (02) collecteurs principaux.
- Les diamètres des collecteurs principaux varient entre 500 mm et 1000 mm
- La nature des collecteurs principaux est de (P.V.C, Béton comprimé.)
- Les diamètres des collecteurs secondaires et tertiaires varient entre 200 mm et 400 mm
- La nature des collecteurs secondaires et tertiaires est de (P.V.C, Béton comprimé.)
- Manque des avaloires pour drainer les eaux pluviales.
- La longueur totale du réseau existant est de 750 Km.

L'accroissement démographique qu'a connu la ville de Béchar génère des quantités considérables d'eaux usées déversées dans le milieu récepteur naturel : Oued de Béchar, qui divise la ville en deux rives d'agglomération importante où les ressources hydriques sont fortement sollicitées pour divers activités. Le déversement des rejets constitue une source de pollution pour les terrains agricoles limitrophe de la ville et les puits riverains.

Les volumes d'eau ont été calculés sur la base d'une dotation hydrique de 240 l/j/hab, cette dotation communiquée par les services technique de la DRE (Direction des ressources en eau) de Béchar est censée couvrir tous les besoins domestique, équipements sociaux éducatifs, activités diverses, le taux de rejet est estimé a 80% ; donc pour une population estimée à 406620 habitants à l'an 2035, le débit d'eau usée journalier moyen rejeté sera de l'ordre de : 78000 m³/j.

Les eaux usées chargées en polluants et en contaminants divers, pose le problème de risque sanitaire. Il peut s'agir des effets directs sur la santé d'une population ou des effets plus indirects à partir de facteurs intermédiaires ayant une influence sur les déterminants de la santé de la population. De tels impacts peuvent être ressentis immédiatement à court terme ou après un long délai (Venugopal, 2008 ; Basil, 2007).

La ville de Béchar est peu industrialisée, l'apport domestique constitue une source majeure de contamination des eaux souterraines, dans ce milieu urbain (Kendouci et *al.*, 2016).

Les résultats obtenus par Kendouci, 2016 au cours de cette étude (analyse physicochimique) témoignent dans leur majorité qu'une contamination des eaux souterraines de la nappes par les eaux usées de l'oued selon un processus d'infiltration qui dépend de plusieurs facteurs environnementaux, pédologiques et climatiques est fort probable et qu'un traitement des rejets urbain est primordiale pour protéger la nappe et l'écosystème. Avec des teneurs maximales de 28mg/l en nitrates, 0.02 mg/l en nitrite, 290 mg/l en chlorures, cette étude nous a permis de montrer l'existence de plusieurs polluants chimiques au niveau des eaux souterraines. Les concentrations les plus fortes sont localisées au sud de la ville suivant le sens d'écoulement de l'oued (Kendouci et *al.*, 2016).

L'évaluation du risque sanitaire lié l'usage des eaux souterraines de la ville de Béchar n'a semble-t-il, jamais été réalise. L'impact sur l'environnement et sur la santé peut se traduire par la contamination des eaux de consommation, la présence de cas de Dysenterie et de fièvre Typhoidale au niveau des autochtones le confirme. La Dysenterie (maladie transmise par l'eau contaminée) présente des valeurs allant de 37 (2007) à 181 (2001) cas sur 100 000 Habitants, pour les tranches d'âge de 0 - 4, 20 - 29, et supérieures à 65 ans, et la fièvre Typhoidale (une maladie diarrhéique très grave transmise par l'eau), varie de un à 14 cas/100 000 Habitants (en 2004), pour les tranches d'âge de 10-19, 20-29 ans (Kabour et *al.*, 2011).

Cette pollution, d'origine anthropique (rejets des eaux usées dans l'Oued) rend ces eaux impropres à la consommation humaine. La population qui utilise ces eaux pour ses besoins quotidiens, s'expose à des risques sanitaires. L'indice de risque, d'une valeur de 1,3 pour l'élément Pb, pour les enfants, déterminer pour le paramètre: ingestion des eaux souterraines, exprime la nécessité de prendre des mesures afin de réduire voir éliminer le risque d'atteinte à la santé public (Kabour et *al.*, 2011).

IV.15 Conclusion

Le bassin versant de Béchar fait partie du grand bassin de la Saoura, avec une superficie de **6357 km²** et une altitude moyenne de **818.23m**.

Les caractéristiques climatiques de la région où se trouve la ville de Béchar, nous montre que :

La température mensuelle maximale est de 43.73°C au mois de Juillet.

La température mensuelle minimale est de 3.45°C au mois de Janvier.

La température moyenne mensuelle est de 10.46°C au mois de Janvier et 37.37°C au mois de Juillet.

La vitesse des vents moyens mensuels est de 2.48m/s au mois de Décembre et 5m/s au mois d'Avril.

L'humidité relative est de 29.7% le mois de Juillet et 80.9% le mois de Décembre.

L'évaporation mensuelle maximale est de 497.2mm au mois de Juillet.

L'évaporation mensuelle minimale est de 92.4 mm au mois de Décembre.

Les précipitations mensuelles minimales sont enregistrées le mois de juillet (1.6mm) et les précipitations maximales le mois d'Aout (27.9mm).

Chapitre V

Application Du Modèle WEAP A La Gestion Des Ressource En Eau De La Ville De Bechar

Chapitre V

Application du modèle WEAP à la gestion des ressources en eau de la ville de Béchar

V.1 Introduction

La connaissance du bassin hydrographique est très importante car il constitue le cadre général et l'unité fondamentale des études hydrologiques et peut fournir des informations sur les risques naturels ou la vulnérabilité des ressources en eau. Les problèmes qui émergent aujourd'hui dans les terres arides sont que les ressources en eau sont peu exploitées et peu comprises par les autorités.

Malheureusement, ces dernières années, notre région a eu des difficultés à assurer un contrôle hydrologique adéquat du bassin de l'oued Bechar et de ses affluents en raison du manque du nombre de stations météorologiques (Il n'y a qu'une seule station pluviométrique et une seule station hydrométrique active). Parfois, ces stations sont presque inutiles. Particulièrement, notre région manque de bases des données hydrologiques. Les données disponibles pour une analyse hydrologique fiable sont souvent incomplètes, discontinues, éphémères et donc difficiles à exploiter, et les modèles hydrologiques ont l'intérêt à pallier ces problèmes.

Le manque d'informations adéquates sur le bassin versant de l'oued Bechar est un inconvénient majeur pour les chercheurs de la zone d'étude.

Aujourd'hui, la demande en eau à des fins domestiques et industrielles est en augmentation, menaçant sa durabilité et ayant des conséquences négatives sur l'agriculture, la foresterie, l'industrie et l'approvisionnement en eau potable.

En effet, la situation actuelle des systèmes aquifères est devenue un sujet de préoccupation majeur. L'état quantitatif et qualitatif des aquifères résulte d'une combinaison de facteurs naturels et anthropique. De plus, la dualité entre les exigences des opérateurs dans cette catégorie d'eau et la nécessité d'assurer leur continuité est un enjeu difficile (sadat et al. 2020).

La ville de Béchar a été au seuil du stress hydrique ces dernières décennies, en raison de l'accroissance démographique avec un taux élevé, du changement climatique et d'une utilisation excessive. La région d'étude, qui se situe dans le Sud-Ouest algérien a un climat aride (DUBIEF 1963), les nappes phréatiques constituent la principale source d'approvisionnement des populations, dont la plus importante et la plus exigeante est la nappe phréatique du Turonien, qui fournit plus de 30 % des besoins en eau potable et en irrigation (KABOUR et al. 2011).

Après une analyse critique des études antérieures sur la gestion des ressources en eau dans la région d'étude ; la configuration du modèle WEAP dans la région d'étude a été dressée avec une discussion sur les scénarios proposés.

V.2 Configuration du modèle

La modélisation sous WEAP se déroule en plusieurs étapes et se divise en deux groupes :

1. Le montage du modèle où le système à modéliser est défini (période de temps à analyser, limites spatiales de l'aire à étudier, composants du système et la calibration du modèle).
2. Le résultat recherché incluant l'évaluation instantanée de la demande réelle de l'eau.

Les hypothèses qui peuvent être intégrées dans les simulations sont en rapport : l'approvisionnement, la disponibilité de la ressource, la pollution, les coûts et des facteurs influençant la demande

Elaboration des scénarios dans le WEAP s'appuient sur l'état actuel et permettent l'exploration de l'impact des hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité future de l'eau et l'utilisation. Ces scénarios sont évalués au regard de la disponibilité de l'eau, les coûts et avantages, la compatibilité avec les objectifs environnementaux, et la sensibilité à l'incertitude dans les variables clés.

WEAP fonctionne sur un pas de temps mensuel. Les mois sont indépendants, sauf pour les réservoirs et stockages. Ainsi, l'eau entrant dans le système dans un mois (débit tête par exemple, alimentation des nappes souterraines ou les eaux de ruissellement en tronçons) est soit stockée ou quitte le système à la fin du mois (khodja, 2020).

V2.1 Calibrage du modèle

Le calibrage ou calage du modèle consiste à déterminer les paramètres non observés du modèle (la consommation unitaire domestique agricole et industrielle, les pertes du réseau de distribution...). Le modèle sera correctement calibré lorsque ces paramètres sont bien déterminés et calculés à la base d'une étude quantitative. Il reproduit exactement la situation hydrique observée durant l'année de base 2014.

V.3 Matériels et méthodes

V.3.1 Zone d'étude

La méthodologie adoptée dans cette étude est basée dans un premier temps sur la collecte et l'analyse des données hydrologiques et de la demande en eau, ainsi que, des données physiques et hydrauliques du système de bassin versant de l'oued Béchar. Données collectées auprès de différentes organisations telles que l'ADE, l'ANRH, la DRE de la province de Béchar. Des outils de traitement sont également utilisés pour adapter l'ensemble des données aux formats demandés par l'environnement WEAP.

La région de Béchar est située dans la partie sud-ouest du Sahara Algérien, et est bordée au nord par la frontière Algéro-Marocaine, à l'ouest et au sud-ouest par la Hammada de Guir, à l'est par le grand Erg Occidental et au Sud par la chaîne Ugarta. Il prévoit une vaste zone avec une combinaison de trois ensembles morphologiques :

- La région montagneuse accidentée : les Djebels.
- L'ensemble tabulaire : plateau désertique appelé "Hammada".
- Le tout dans un bol : Dépressions.

Béchar est entouré d'une chaîne de montagnes : le Djebel Antar à 1953 m, le Djebel Grouz à 1835 m, et le Djebel Béchar à 1206 m.

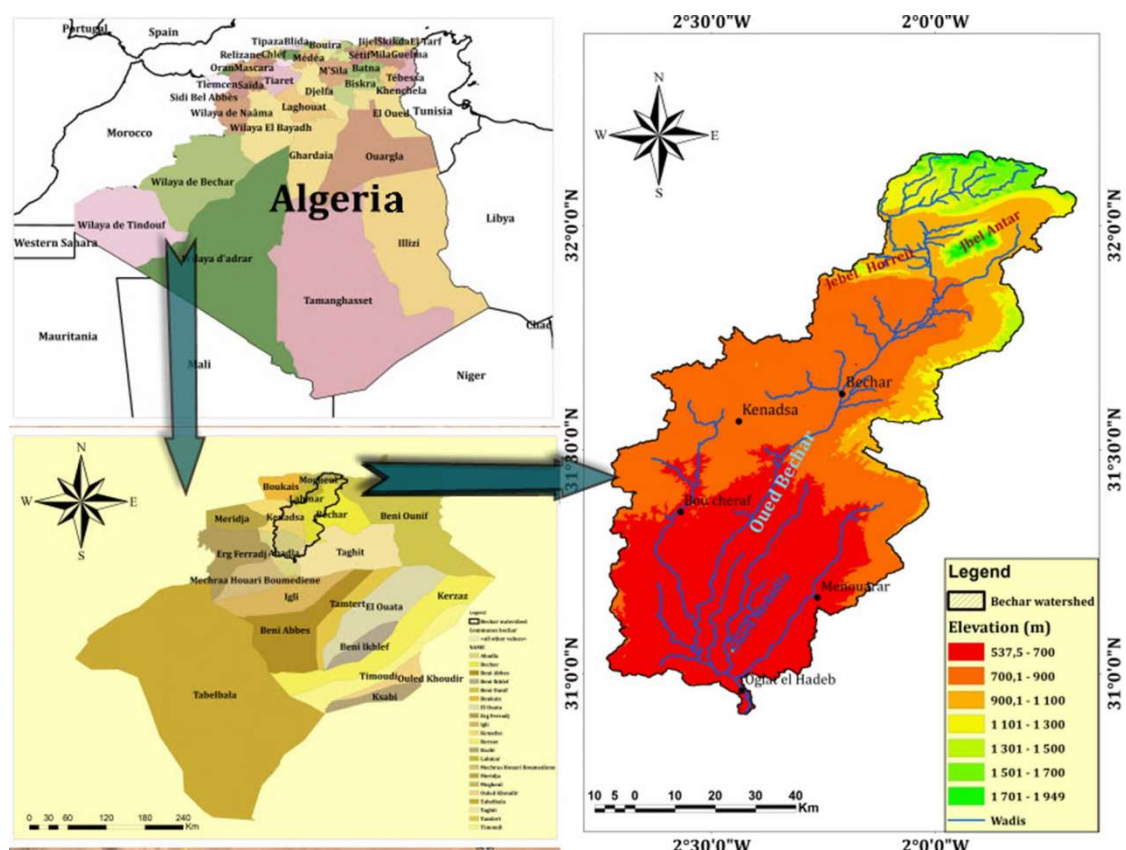


Figure V.1 : Situation géographique du bassin versant de l'oued Béchar (Bekhira et al. 2014)

La population de la ville de BÉCHAR est de 199 600 habitants en 2014. L'oued de Béchar commence à une altitude de 1919 m dans le Djebel Grouz en passant par l'oued El Biodh. Après une descente rapide, il reçoit dans son cours les eaux de l'oued R'tem, de l'oued Roknet El Betoum, ainsi que les eaux de nombreux affluents en provenance du Djebel Antar, de l'Arride et du Djebel Béchar. Après avoir parcouru une cinquantaine de kilomètres, il traverse la ville de Béchar et reçoit les eaux de l'Oued Tigheline. Au-delà de la ville, l'oued s'étend sur une centaine de kilomètres dans une direction NE-SO, allant de 900 m à 600 m d'altitude. A Ksiksou, il se dirige vers le NW-SE et s'installe dans le sable au Daïet Tiour, à 547 m d'altitude.

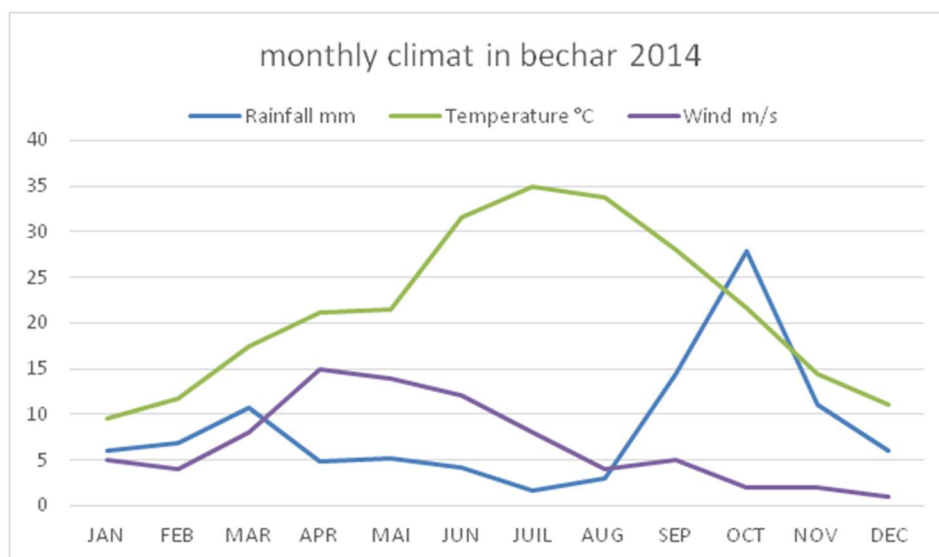


Figure V.2 climat mensuel à Béchar 2014 (ANRH)

Le climat de la région d'étude est basé sur les informations recueillies à la station météorologique de Béchar. L'analyse des différents paramètres climatologiques (P, T°C, vitesse du vent.) précise le climat qui caractérise la région.

V.4 Ressources D'eau

Le réseau d'adduction d'eau potable de la ville de Béchar s'étend sur 522 km. Et l'approvisionnement en eau provient de deux sources principales : le premier barrage Djorf Torba (eaux de surface) à un débit de 32 000 m³/j ; et le deuxième aquifère Ouakda (eaux souterraines) à un débit de 8000 m³ /j avec un débit de 4320 m³/j de forage Moughel à un débit souterrain total de 12320 m³ /j. Pour l'adduction gravitaire et en pression, les ouvrages servent de station de traitement ; station de pompage de 15552 m³/j, 11 réservoirs de stockage et de distribution d'une capacité totale de 26350 m³ (KENDOUCI, 2019).

V.4.1 Les Eaux De Surface

La ville de Béchar est alimentée par les eaux de surface du barrage de Djorf Torba, sa capacité de réservoir est de 360 Hm³. Elle est située à 45 km à l'ouest de la capitale Béchar ; elle est détournée, principalement, vers l'alimentation en eau potable de la ville de Béchar et secondairement vers l'irrigation pour le périmètre agricole d'Abadla.

V.4.2 Eaux Souterraines

La région est enclavée sur le bord sud-est d'une entité géologique importante, connue sous le nom de bassin crétacé d'Er Rachidia-Béchar, qui chevauche le Maroc et l'Algérie et qui couvre plus de 8000 km². Il est communément appelé le bassin pré-africain. La partie algérienne est connue sous le nom de bassin crétacé de Béchar, d'une superficie de 4000km², dont la structure est un synclinal allongé Est-Ouest. Ce bassin est limité au nord par la frontière algéro-marocaine et les massifs carbonifères du nord (Djebel Horreït et Djebel Antar), à l'est par le Djebel Béchar, au sud par la Chebka Mennouna et à l'ouest par la Hamada de Guir et la frontière algéro-marocaine. Les données des forages et des affleurements à Ouakda suggèrent que sur un socle carbonifère repose en discordance angulaire les formations du Crétacé et du Tertiaire

Aquifère de Ouakda (eaux souterraines) à un débit de 8000 m³/j avec un débit de 4320 m³/j de forage Moughel à un débit souterrain total de 12320 m³/j (KENDOUCI, 2019).

V.5 Méthodes

V.5.1 Modélisation par WEAP :

Nous avons choisi l'approche WEAP car la gestion des ressources en eau nécessite une connaissance de l'état actuel et futur de ces ressources afin de modéliser les ressources disponibles et les besoins en eau potable de la population de la ville de Béchar.

La méthodologie adoptée reposait tout d'abord sur la construction d'une base de données cartographiques. Deuxièmement, un modèle conceptuel du système de mobilisation des eaux de surface est développé à l'aide du logiciel WEAP. La troisième étape consistait à établir des relations entre les nœuds du modèle conceptuel avec la base de données. Cette étape calcule l'entrée et la sortie d'eau pour chaque nœud et liaisons dans le système au cours de ce mois. Cela inclut des calculs d'offre pour répondre à la demande. Pour cela, L'exécution de WEAP nécessite l'acquisition 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 de tenir compte des limites imposées lorsque les données sont limitées (Yates et al, 2005). Pour configurer le modèle le pas de temps mensuels ont été utilisés 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 mensuelle.

Dans WEAP, l'effort typique de modélisation des scénarios consiste en trois étapes. En premier lieu, une année est choisie pour servir comme année de base pour le modèle « Comptes Actuels » ; Les comptes Actuels étaient définis par les données que vous aviez introduites lors des modules précédents. Un scénario de référence « Reference » est établi à partir des Comptes actuels pour simuler la même évolution du système sans intervention. Finalement, des scénarios « Quoi si » peuvent être créés pour changer le scénario «Reference» et évaluer les effets des changements des politiques et/ou des technologies (SEI,2008)

La base de données requises pour l'application du modèle a été obtenue à partir de diverses institutions, telles que l'ABH (Agences de Bassins Hydrographiques), l'ANBT (Agences Nationale des barrages et transferts), l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), l'ONM (Office National de la Météorologie), DSA (Direction des Services Agricoles), l'ONS (Office National des Statistiques), l'ONA (Office Nationale d'assainissement), et l'ADE (l'Algérienne des Eaux).

Les équations d'équilibre représentent la base mensuelle du bilan hydrique dans WEAP. Ce travail a abouti à la construction d'un outil de modélisation des besoins en eau de la ville de Béchar.

Analyse des scénarios de développement. L'année 2014 a été choisie comme référence pour toutes les informations sur le système : sites d'application, données d'approvisionnement, consommation, liaisons et transmission. Les informations économiques, la démographie et l'utilisation de l'eau sont utilisées pour construire des scénarios alternatifs qui examinent la manière dont la consommation d'eau totale et désagrégée change avec le temps. Des simulations répétées pour différents scénarios de gestion peuvent élargir l'ensemble des valeurs des indicateurs, ainsi qu'un cadre d'analyse compliqué et imposant des difficultés pour reconnaître le meilleur scénario ou le plus souhaité

Ces scénarios demandés sont calculés dans le WEAP et appliqués de manière déterministe à un algorithme d'affectation basé sur un programme linéaire. L'analyse de la demande est le point de départ pour mener une analyse intégrée de la planification de l'eau,

puisque tous les calculs d'approvisionnement et de ressources dans le WEAP sont effectués par la routine d'optimisation qui détermine la livraison finale à chaque demande, en fonction des principaux nœuds de demande par l'utilisateur. (bouznad et al.2020)

Dans cette partie, les paramètres année et période d'étude, paramètres et unités de temps doivent être fixés, nous limitons l'année des comptes courants entre 2014-2060 pour toutes les informations sur le système (sites de demande, données d'approvisionnement, ...).

V.6 Cartographie :

V.6.1Création du modèle :

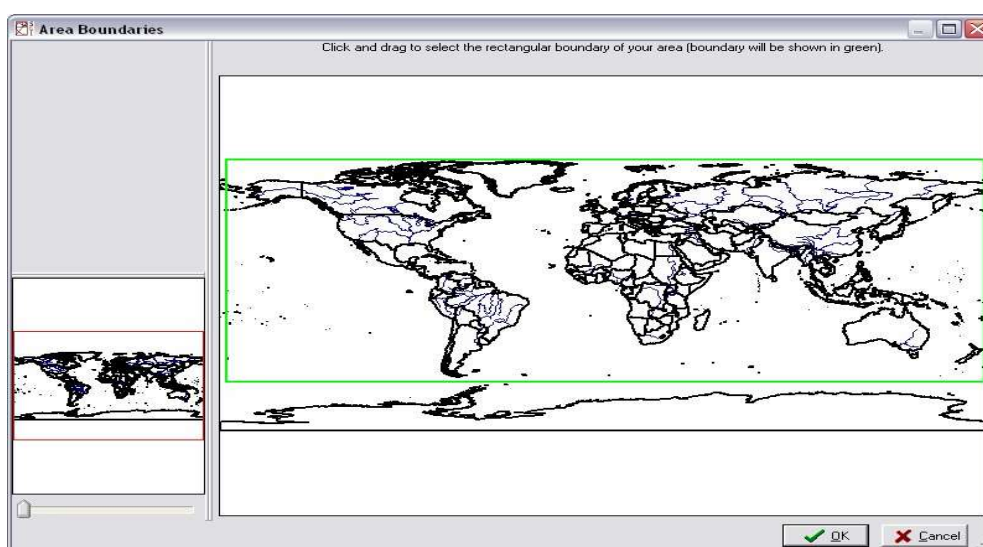


Figure V.3 Carte du Monde

Notons que dans WEAP, il existe déjà la carte du monde où on peut choisir et créer la Zone d'étude. En sélectionnant la Région de BÉCHAR puis on ajoute la limite du bassin versant ensuite le réseau hydrographique sous fichier cartographique comme couche de fond.

V.7 Système de projection géographique adopté :

Il existe plusieurs systèmes de projection officiels utilisés en l'Algérie. Par exemple les cartes topographiques au 1/50.000 sont dans une projection Lambert spécifique à l'Algérie. Le système utilisé pour les cartes topographiques au 1/200.000 est le système géodésique Nord Sahara 1959 – Ellipsoïde de Clarke 1880 – UTM zone 30, 31 ou 32, voisin mais différent de la norme internationale UTM (WGS84).

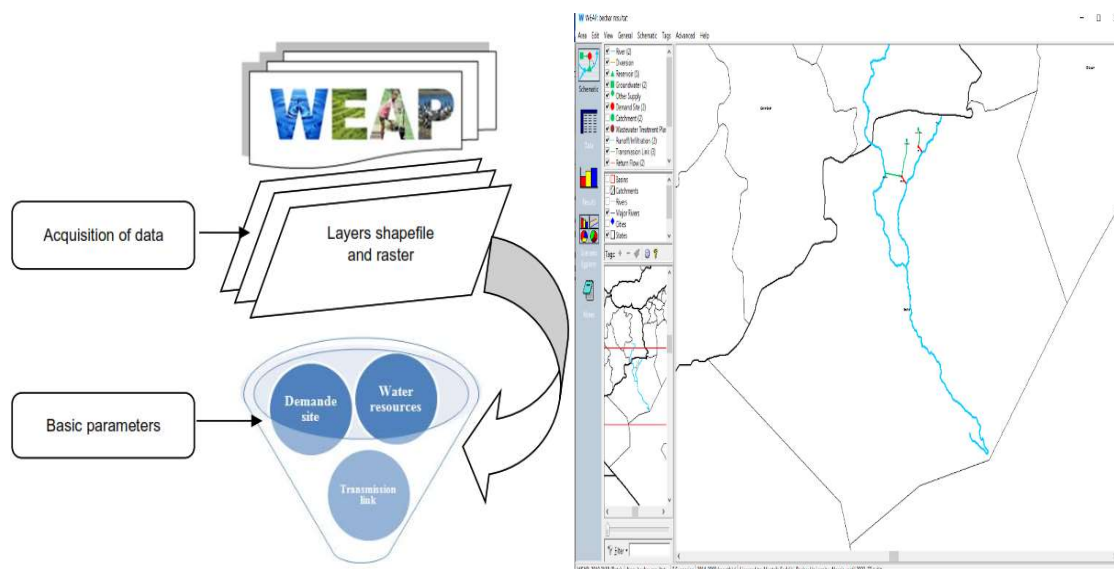


Figure V.4 Présentation du modèle WEAP (Seddiki et al.,2021)

V.8 Réglage Des Paramètres Généraux

Dans cette partie, les paramètres année et période d'étude, paramètres et unités de temps devraient être réglées Figure V.5, nous limitons l'année de comptes courants entre 2014–2060 pour toutes informations sur le système (sites de demandes, données d'approvisionnement,...).

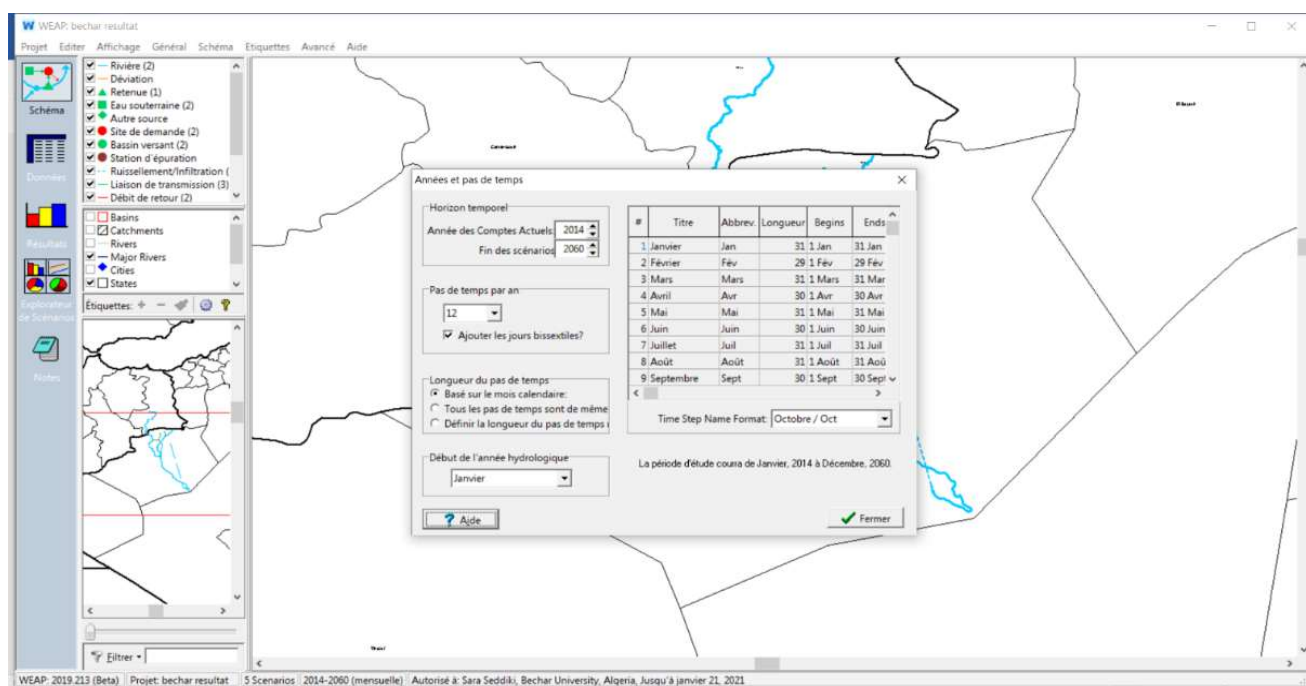


Figure V.5 Paramètres de temps et d'unités

V.8.1 Implantation des éléments nécessaires dans le modèle

L'ensemble des éléments du projet seront dessinés sur le fond SIG. Ces éléments se composent des cours d'eau, les sites de demande en eau, les ressources en eau, et des connexions d'alimentation et de rejet. Et on saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur en cliquant droit sur les emplacements numérisés.

V.8.2 Saisie des données

V.8.2.1 Création des hypothèses clés

les hypothèses principales sont créées :

- Dotation domestique ;
- Croissance de population
- Forte croissance de population.

V.8.2.2 Saisie des éléments d'affichage cartographique

Les sites de demandes (les utilisateurs d'eau) :

Avec un clic droit sur l'un des éléments des sites de demandes implantées dans la carte de la zone, une fenêtre de dialogue apparaît avec tous les détails des informations nécessaires.

En cliquant sur l'un de ces informations nécessaires, on peut passer directement dans l'affichage de la base des données puis faire la saisie des données

Les informations concernant les sites de demandes sont :

Le niveau d'activité annuelle qui détermine la demande tel que la surface agricole, le nombre d'usagers de l'eau pour des motifs domestiques ou industriels ;

La consommation annuelle ou le niveau de consommation d'eau par unité d'activités ;

La variation mensuelle ou la part mensuelle de la demande annuelle ;

Le taux de consommation ou le pourcentage du débit d'entrée consommé.

Les informations au niveau des sites de demandes sont représentées comme suit :

La ville de Béchar :

Les données relatives à la population et nécessaires à la simulation de la demande en eau sont regroupés dans la figure V.6, ci-après :

Tableau V.1 nombre de population en 2014

Ville	Nombre de population en 2014 Hab
BÉCHAR	199600

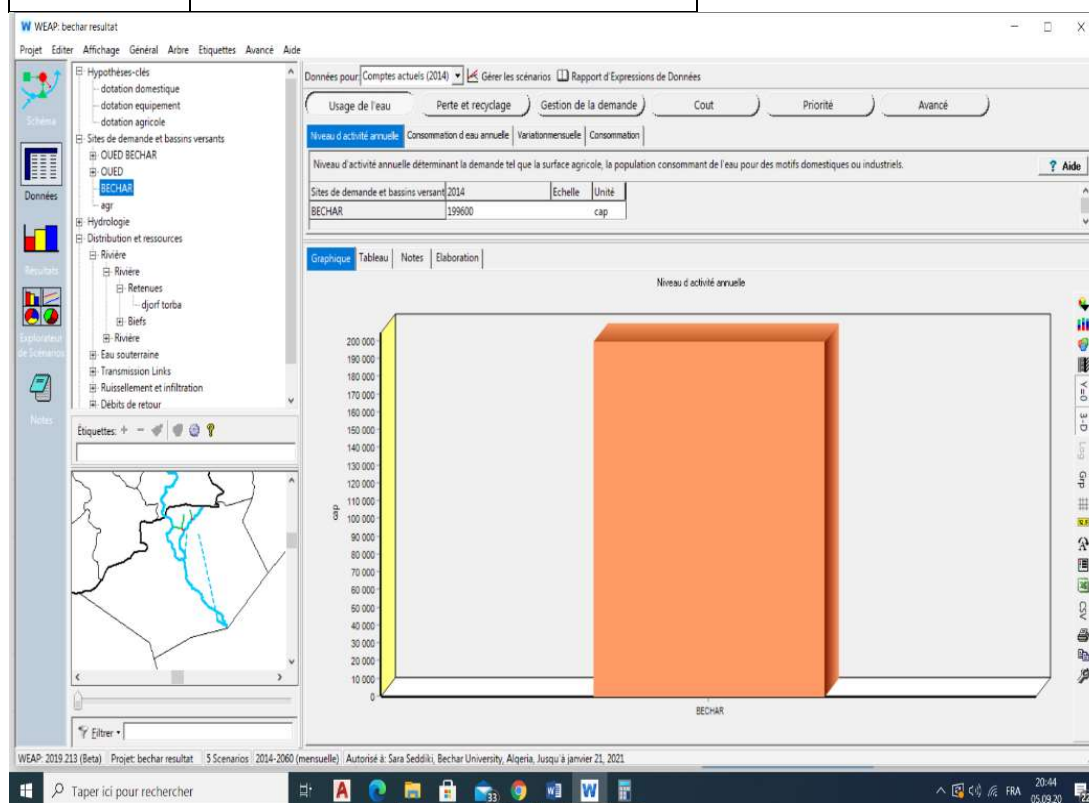


Figure V.6 Données relatives à la population du site de demande

- Offre domestiques

La population est déterminée pour l'année d'étude par le programme générateur d'expression par la fonction « GrowthFrom » utilisant le taux d'accroissement, et l'année du compte actuel de la population correspondante.

La population de l'année du compte actuel est calculée sur la base de recensement de 2014.

Le taux d'accroissement démographique global moyen et les habitants, pour le site de demande, est mentionné dans la figure V.7.

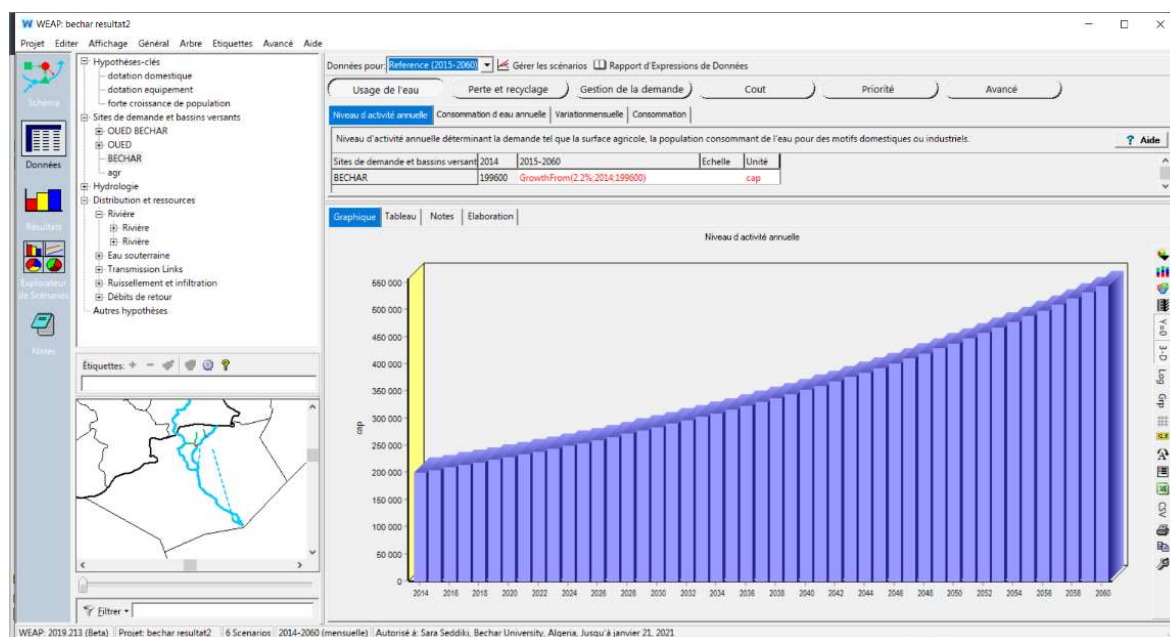


Figure V.7 Evolution de nombre d'habitant de scénario de référence 2015-2060

De cette figure, il en résulte que l'évolution de la population est en croissance permanente.

En suivant la démarche du modèle WEAP, la population du système étudié sera de l'ordre de 550.000 habitants en 2060.

- *Périmètres irrigués :*

Dans notre cas, les surfaces irriguées sont représentées par le périmètre d'Ouakda. Les données relatives aux périmètres agricoles et nécessaires à la simulation de la demande en eau sont regroupées dans la figure ci-après :

La ville de Béchar dispose d'une superficie agricole utile (SAU) estimée à 8885.5 ha qui représente toutes les caractéristiques d'une agriculture saharienne.

Tableau V.2 REPARTITION DES TERRES AGRICOLES 2014 [ANRH]

Commune	S.A.U totale	Pacages et parcours	Terres improductives	Total
BÉCHAR	8885,5 ha	183000 ha	10320 ha	202205,5 ha

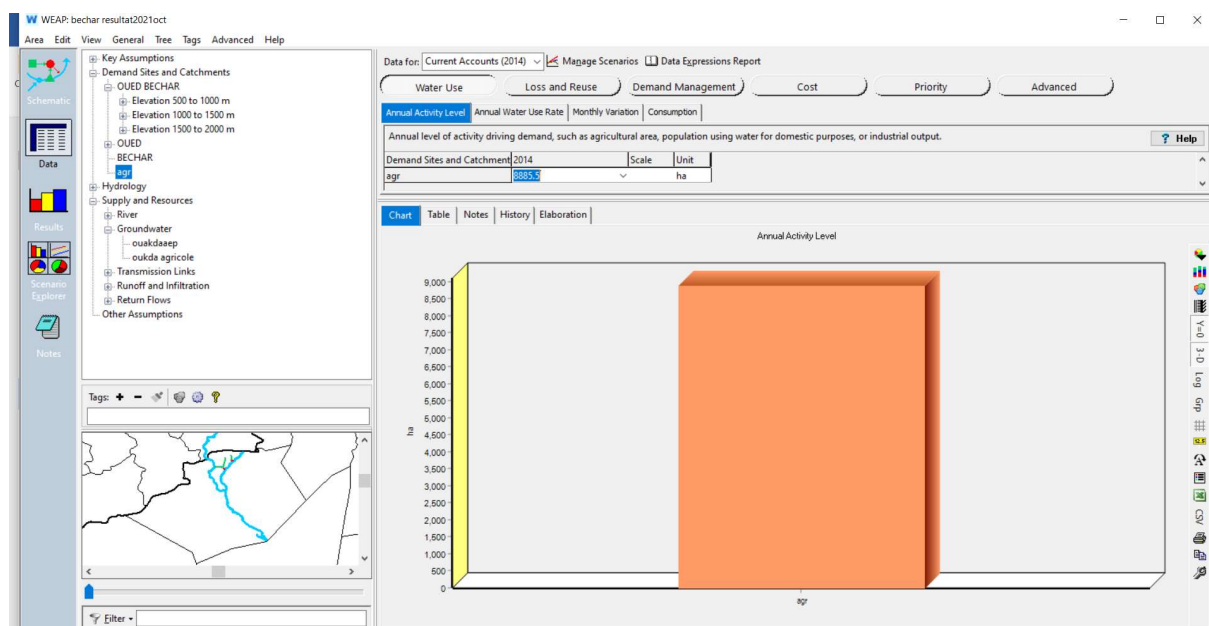


Figure V.8: niveau d'activité du périmètre irrigué.

- **Ressources d'approvisionnement en eau :**

Les différentes ressources en eau superficielles et souterraines ainsi que leurs adductions, ayant trait à l'alimentation de la ville et à l'irrigation, sont représentées dans ce qui suit:

- **Les eaux superficielles :**

Les données des barrages relatives à la simulation par le modèle WEAP concernent la capacité de stockage, l'évaporation nette et les courbes caractéristiques hauteurs-volumes stockés. Le modèle WEAP permet la représentation individuelle de ces données sous forme tabulaire ou graphique, Notons que les différentes données des réservoirs étaient collectées à partir de l'agence nationale des barrages et des transferts (ANBT).

Tablea V.3. Caractéristiques hydrologiques de barrage Djorf Torba (ANBT)

OUED	Capacité initiale	Apport moyen annuel	Volume régularisé	Surface du bassin versant	Capacité à la cote de retenue normale	Capacité à la cote de plus haute eau
GUIR	350 Mm ³ /an	180 hm ³ /an	100 hm ³ /an	23887.2 km ²	260 hm ³	750 hm ³

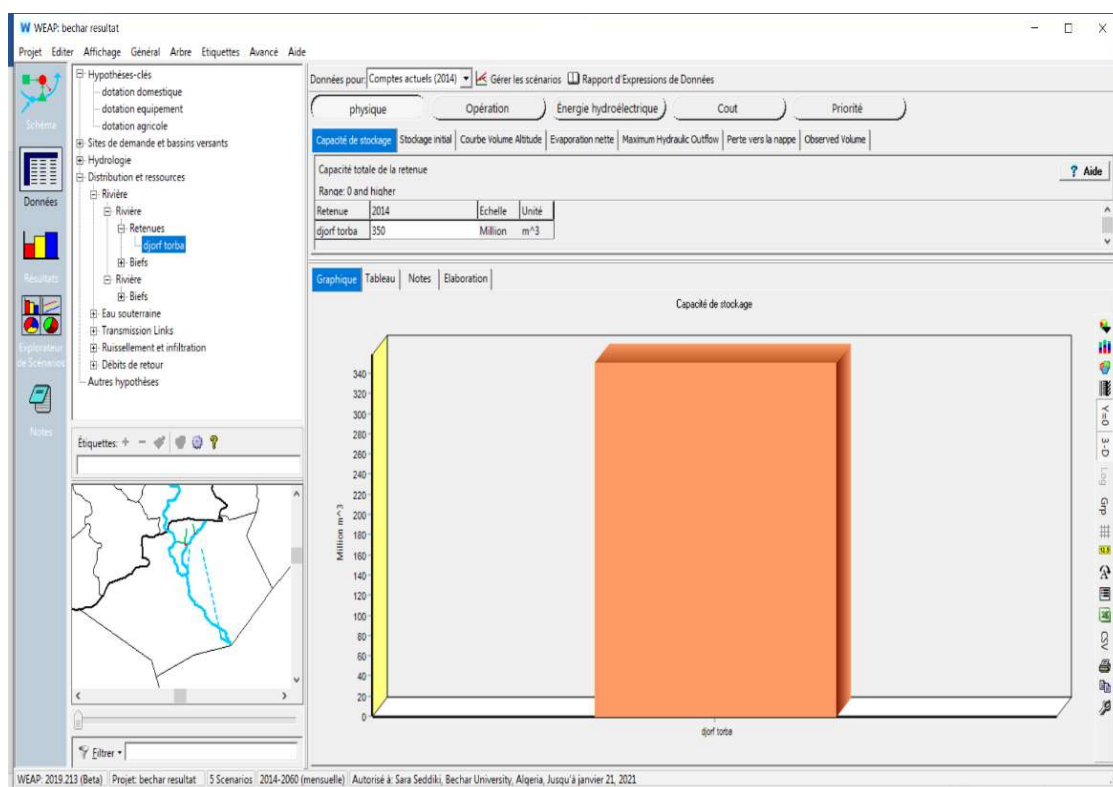


Figure V.9 Présentation des données relatives au barrage Djorf Torba.

Selon le tableau suivant on introduit la courbe volume en fonction de la hauteur dans le barrage djorf torba

Tableau V.3 volume et hauteur de barrage djorf torba

Cote (m)	692	695.5	698	699	700	704	870
Volume (hm ³)	100	200	319	260	430	716	870

ANBT

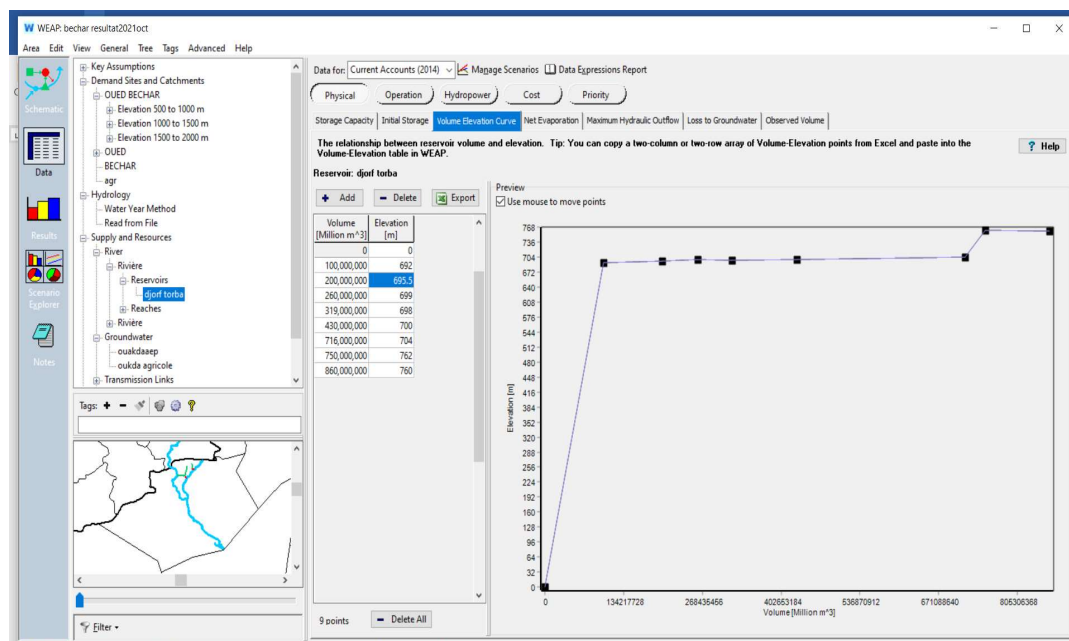


Figure V.10 courbe volume en fonction des hauteurs de barrage djorf torba

La figure suivant représente les données d'évaporation introduites dans l'outil WEAP.

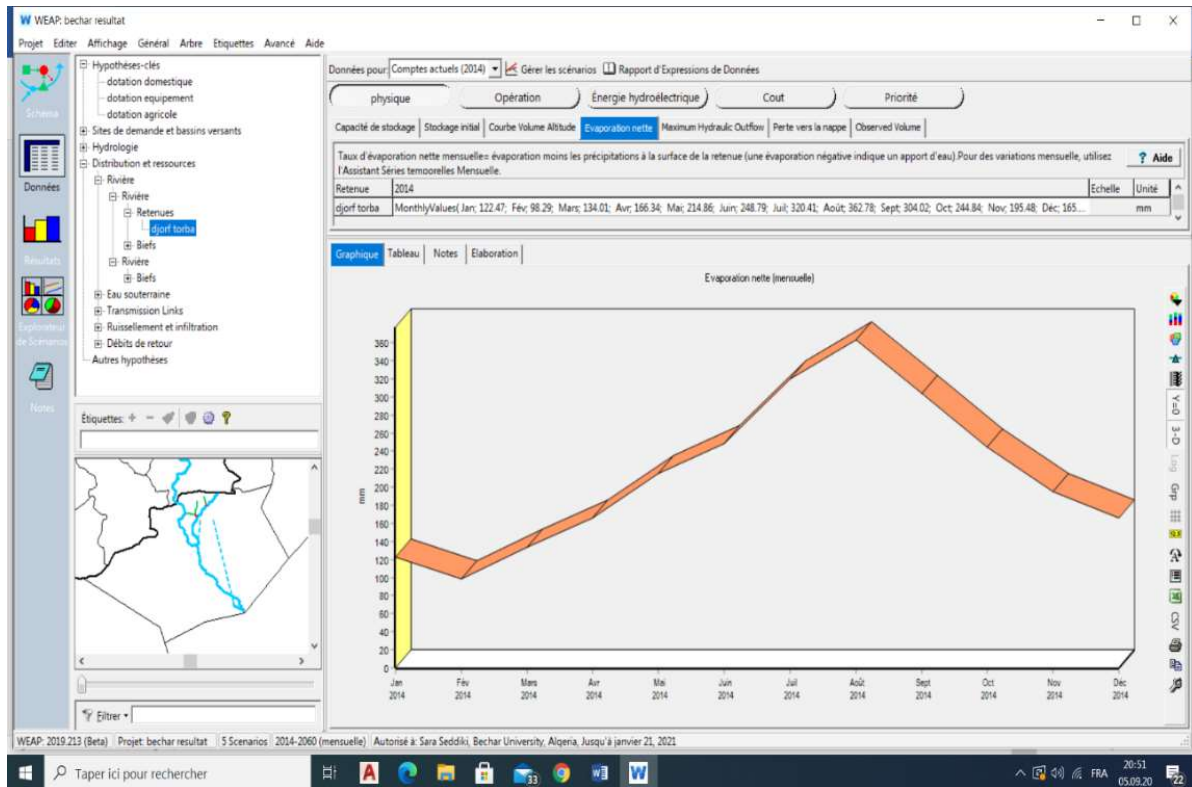


Figure V.11 Evaporation nette au niveau du barrage.

-Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines servant à l'alimentation de la ville de Béchar et à l'irrigation sont représenté par la nappe d'ouakda. Les données nécessaires à la simulation, par le modèle WEAP sont :

- La capacité de stockage de l'aquifère ;
- Le volume initial au début du calcul ;
- Le prélèvement maximal à partir de la nappe ;
- La recharge naturelle de la nappe.

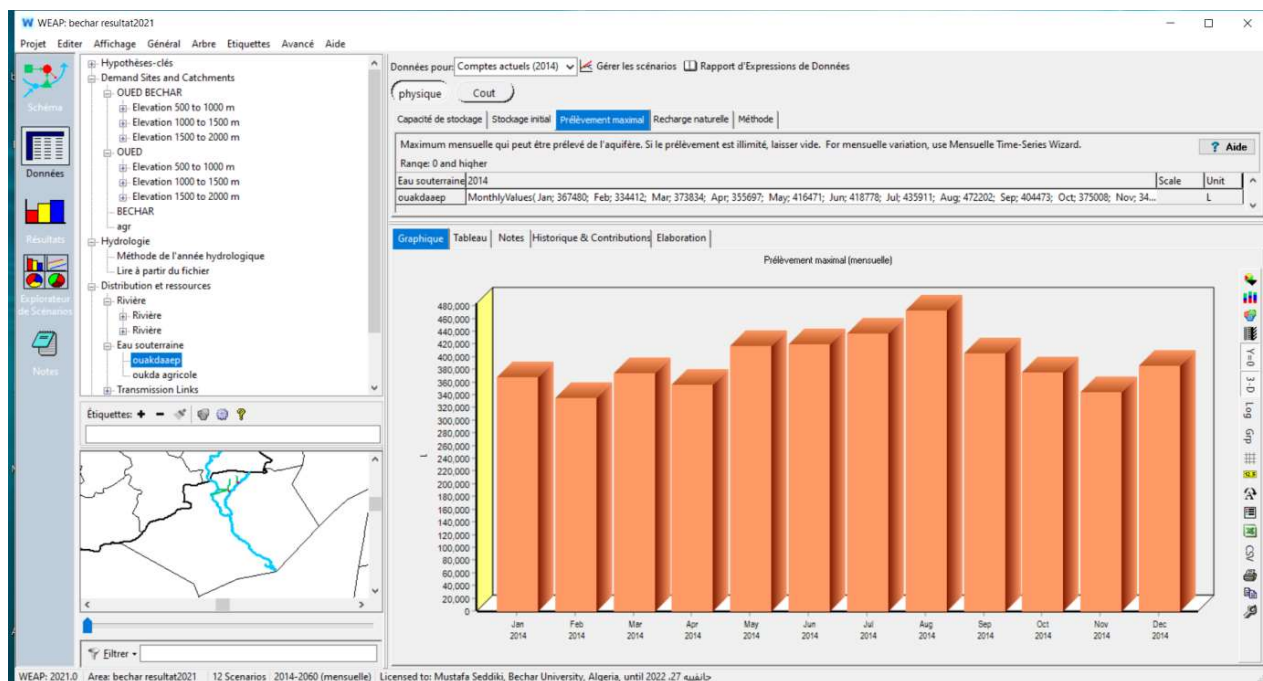


Figure V.12 Prélèvement maximal de la nappe.

Introduction des données climatique

La figure V.13 montre les données de précipitation introduites dans le WEAP.

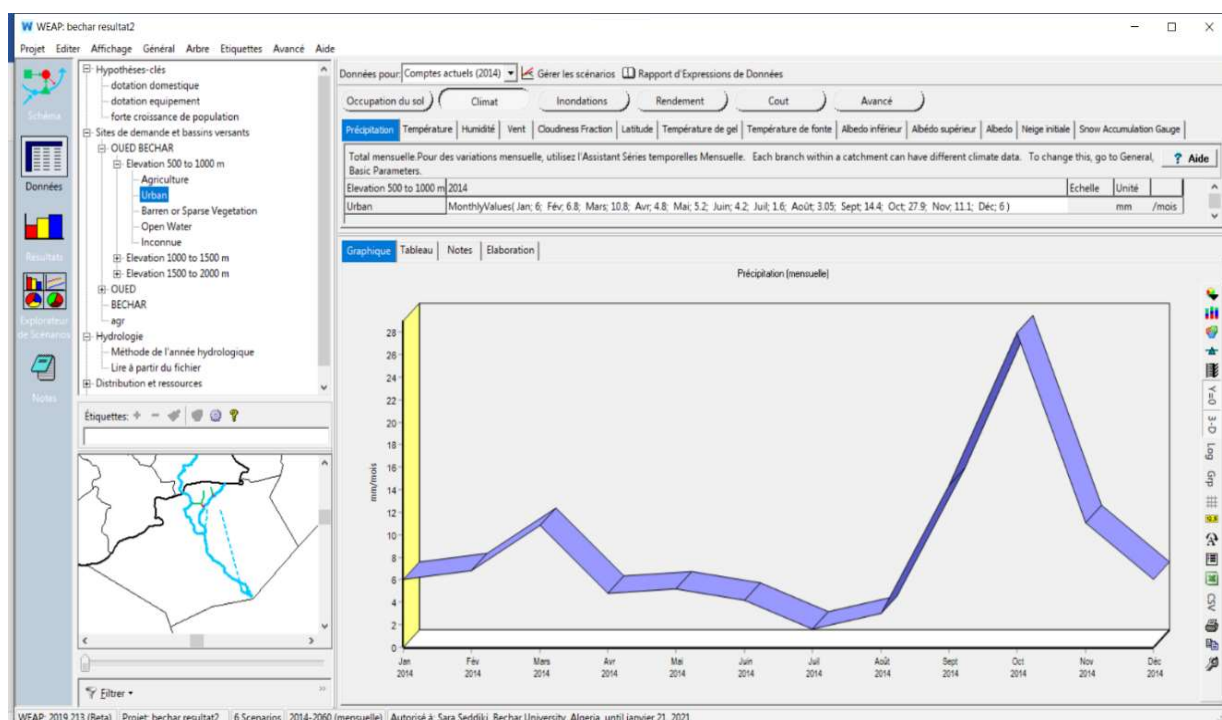


Figure V.13 Précipitation de l'année 2014.

Les figures ci-dessous représentent les données de la température, de l'humidité et du vent introduites dans le modèle WEAP, afin de les utilisées dans la simulation et d'obtenir les résultats.

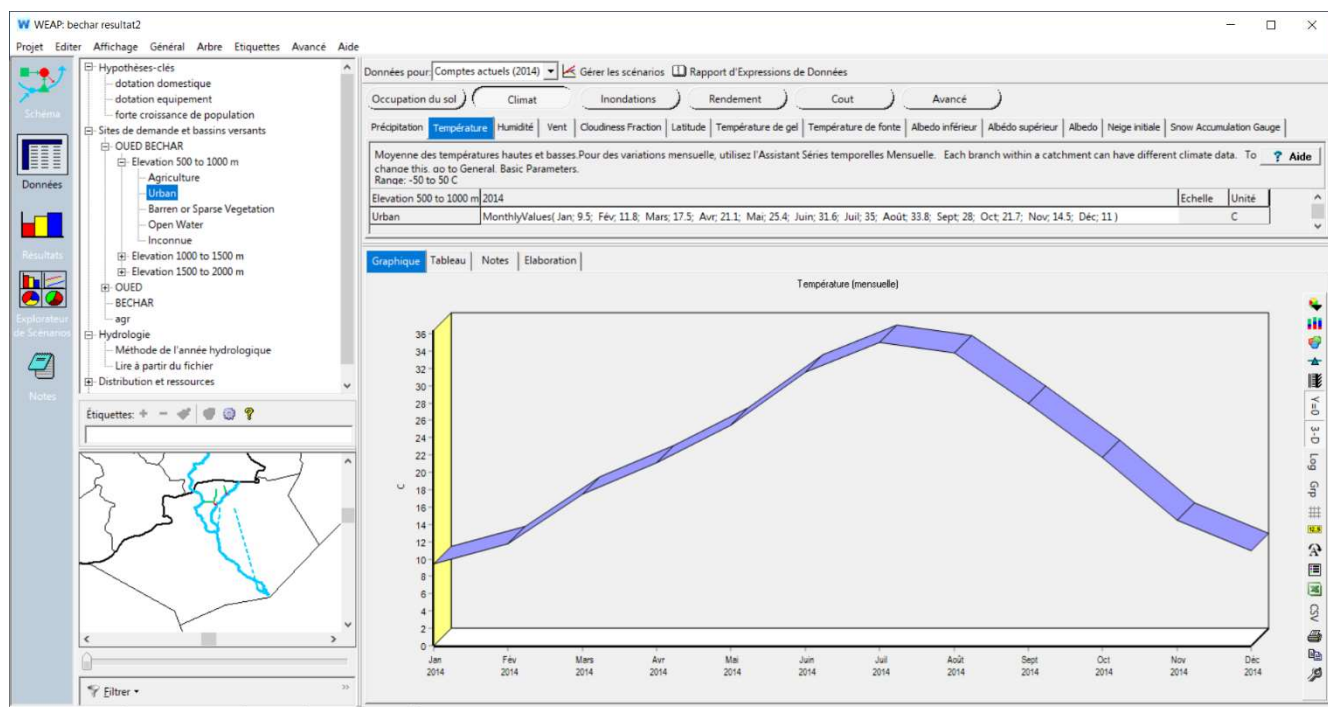


Figure V.14 Température de l'année 2014.

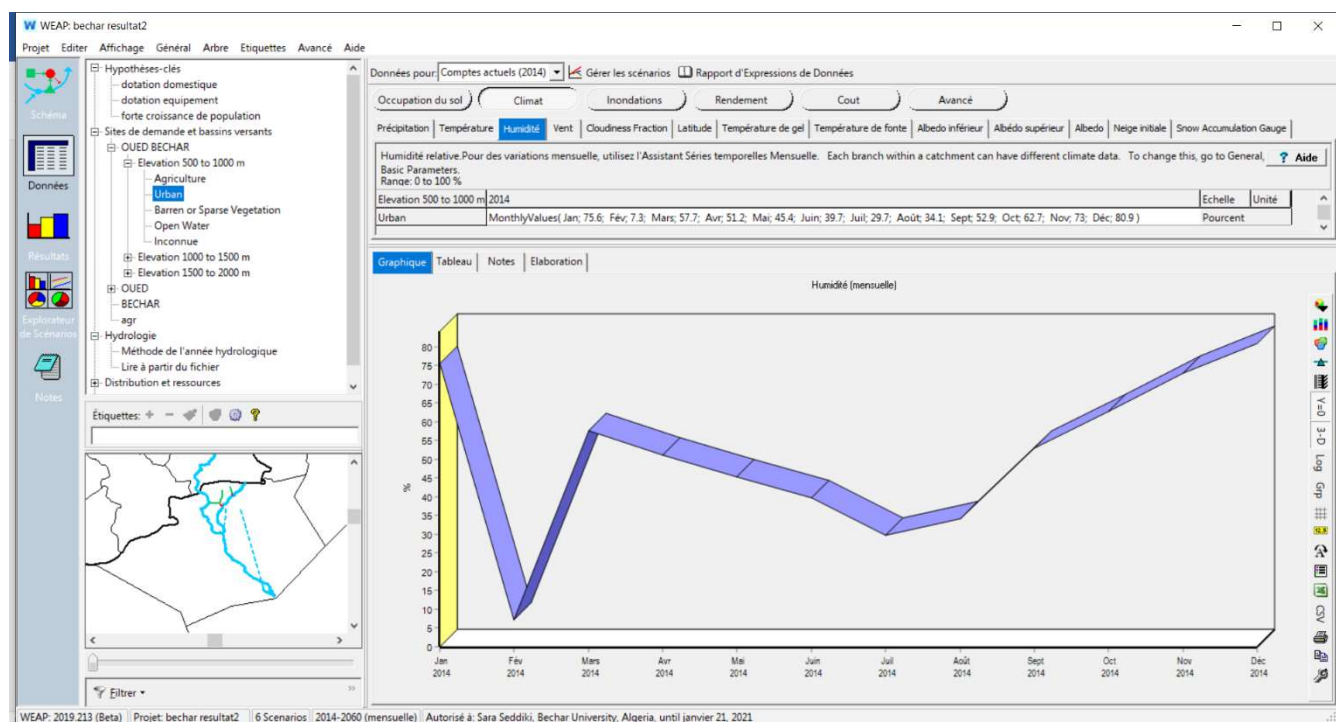


Figure V.15 l'Humidité de l'année 2014

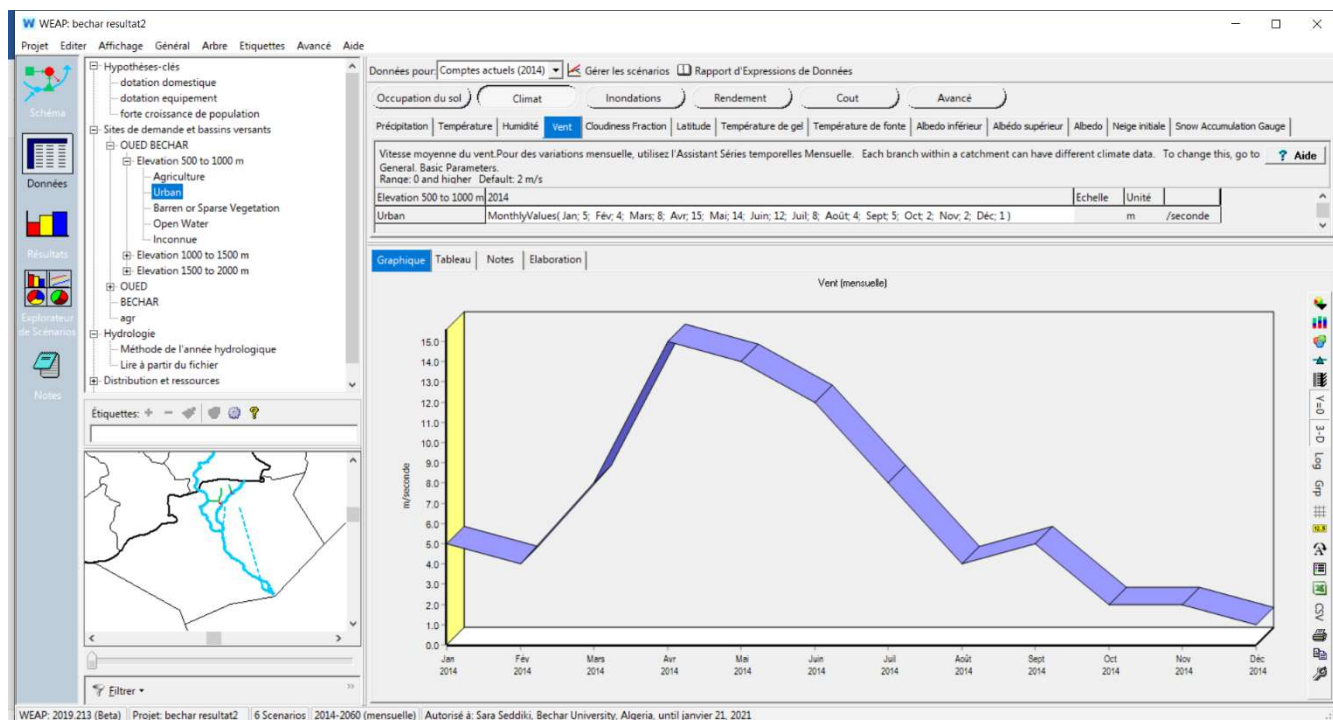


Figure V.16 La vitesse du vent de l'année 2014.

Les données climatiques (la température, l'humidité, la vitesse du vent, etc...) ont été introduites dans le modèle WEAP par l'utilisation de l'Assistant Séries Temporelles Mensuelles, qui seront utilisées par le modèle pour calculer l'évapotranspiration de référence en utilisant l'équation de Penman Montieth. Ainsi que les données concernant la latitude des sites ont été aussi introduites dans le modèle.

Avec la version actuelle de WEAP, il est possible de choisir parmi quatre méthodes 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 du 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 Mabilia, une nouvelle méthode basée sur la formulation de Cropwater.

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 « ReadFromFile ».

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. Différents scénarios peuvent ainsi changer la séquence choisie des années sèches et humides pour tester l'impact des variations naturelles sur la gestion des ressources en eau.

V.9 Résultats et discussions

Dans ce qui suit, les différents scénarios appliqués et analysés par le modèle WEAP

V.9.1 Scenario de Référence

- La ville de Béchar :

La figure V.17 montre que l'évolution de la population en augmentation suivant l'approche du modèle WEAP, la population dans la zone étudiée sera de l'ordre de 550 000 habitants en 2060.

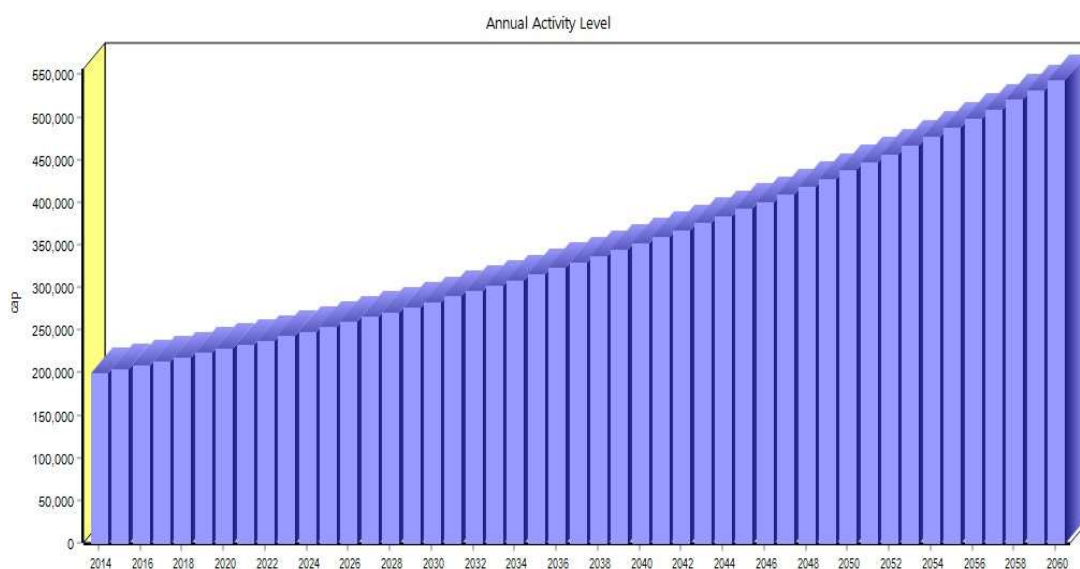


Figure V.17 Evolution du nombre d'habitants dans le scénario de référence 2014-2060.
(taux 2,2%) (Seddiki et al.,2021)

V.9.1.1 Demande En Eau

L'évaluation de l'impact des principaux facteurs, en vue d'une approche intégrée du développement de l'approvisionnement en eau dans le contexte de la demande en eau, de sa qualité et de la préservation des écosystèmes, est envisagée à travers la création de scénarios ou variantes dans le modèle WEAP. Ces scénarios sont élaborés par l'introduction

d'expressions mathématiques sous forme d'hypothèses clés reflétant les différents scénarios à examiner. N'oubliez pas que l'année « Compte courant ou initial » est utilisée comme année de base pour le programme. La variante "Référence" représente une évolution simulée sans aucune influence de l'année "Comptes courants".

De nombreuses variantes peuvent être créées et simulées en introduisant des modifications dans la variante "Référence" pour évaluer les effets dus aux changements de règles de gestion et de technologies.

A cet effet, dans notre travail, nous avons établi les scénarios suivants :

1. Variante de référence ;
2. Scénario de forte croissance démographique ;

Rappelons que l'évolution de la demande en eau dépend de la taille des éléments consommateurs d'eau (population, industrie, irrigation, etc.), de leur taux de croissance ou de développement et de leur dotation journalière. La figure ci-dessous montre l'évolution de la demande en eau dans les différents secteurs (domestique, industriel et irrigation). Quant à la figure V.18, elle montre la répartition mensuelle de cette demande en 2060.

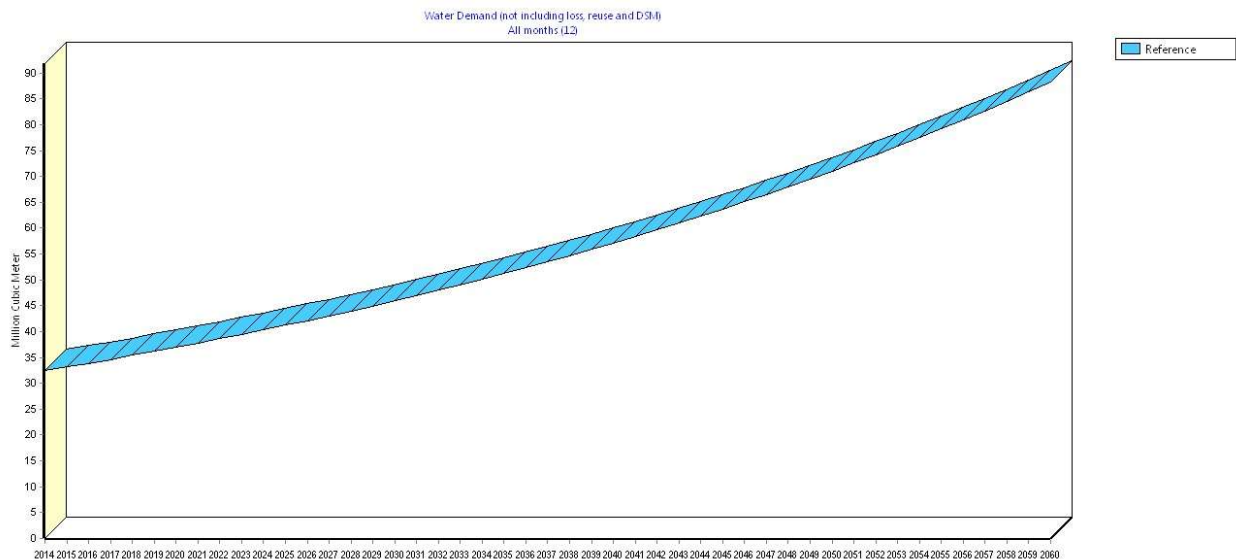


Figure V.18 Evolution de la demande en eau de la ville de Béchar – scénario de référence
(Seddiki et al., 2021)

La zone d'étude est représentée par la population actuelle calculée par WEAP pour l'année de référence 2014 et son taux de croissance. En raison de la croissance démographique des zones urbaines, Compte tenu de la croissance démographique des zones

urbaines, la demande en eau potable pour le scénario de référence continue d'augmenter entre 2015 et 2040 : Elle a augmenté de 37 millions de m³ en 2020, atteignant en 2040 environ 57 millions de m et atteindra un total « d'environ 88 millions de m³ en 2060 ».

La demande totale en eau augmente également de 2015 à 2050 dans tous les scénarios où la demande est la plus élevée au cours de la période d'avril à octobre. Cette augmentation est due à l'utilisation intensive de l'eau en été.

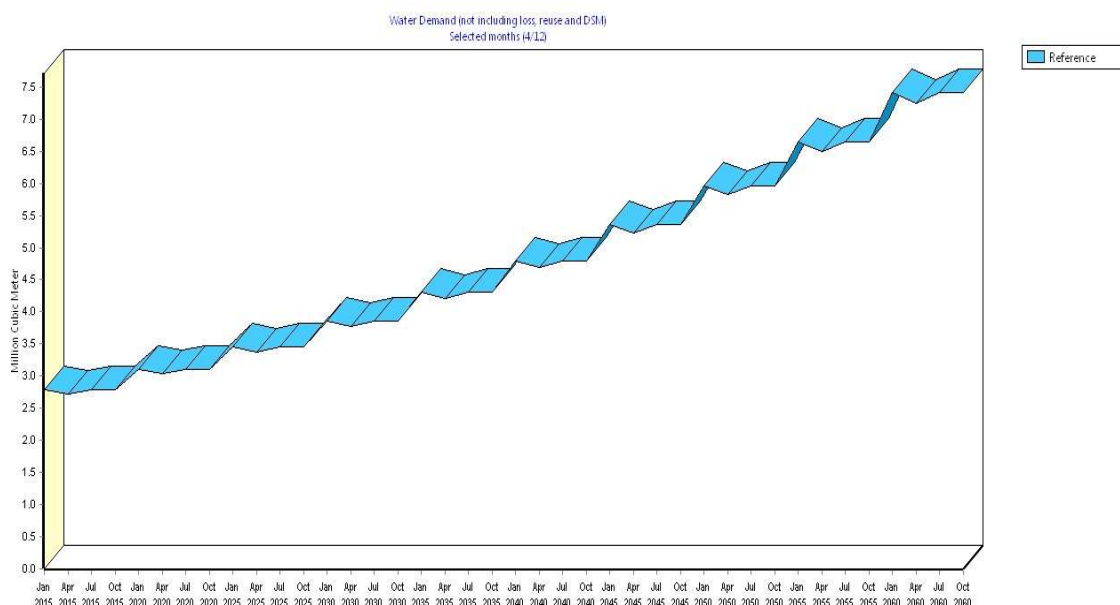


Figure V.19 Evolution de la demande mensuelle en eau de la ville de Béchar – scénario de référence ; (Seddiki et al., 2021)

La diminution des ressources due au changement climatique comme la très forte évaporation des ressources de surface ainsi que le problème des eaux souterraines renouvelables.

Les résultats obtenus montrent que la demande en eau en juillet 2020 variait entre 3 millions de m³ pour le scénario de référence et 4 millions de m³ pour le scénario d'augmentation de la population Figure V.19.

Les besoins en eau des scénarios montrent une augmentation significative de janvier 2045 à 12 millions de m³. Ce développement continuera à atteindre 26 millions de m³ en juillet 2060. Cette croissance démographique influence les ressources en eau de la zone d'étude.

L'augmentation progressive de la demande en eau pour ce scénario est due à la combinaison de la pression démographique et de la rareté de l'eau due au changement climatique.

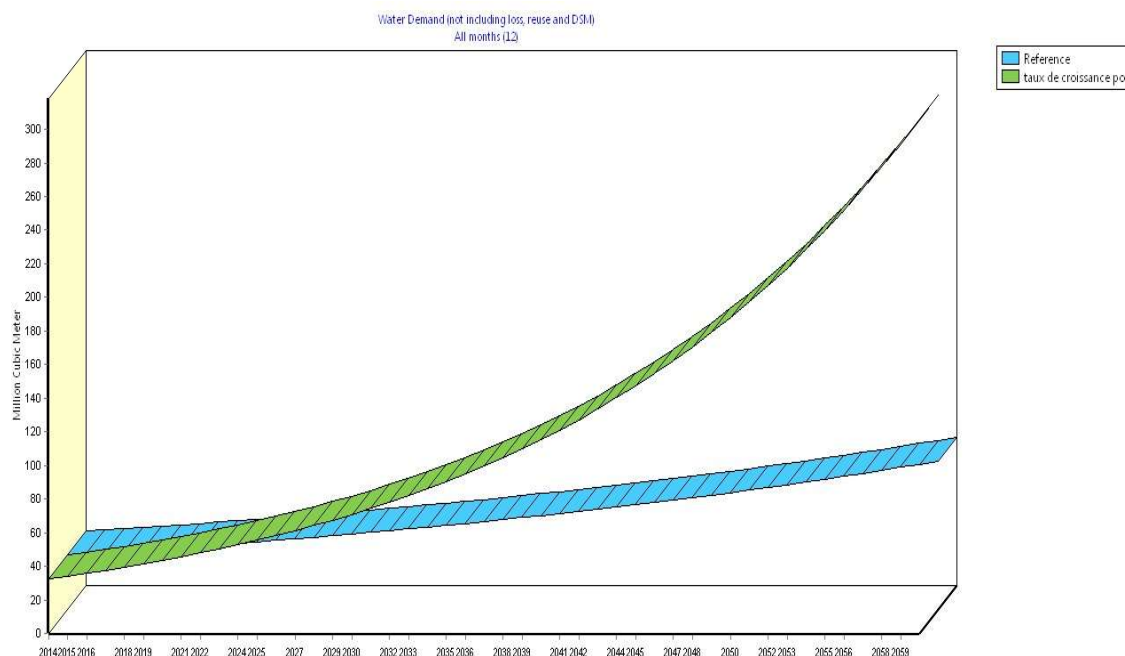


Figure V.20 Évolution de la demande en eau dans la ville de Béchar – référence /forte croissance de la population ; (Seddiki et al., 2021)

V.9.1.2 Demande Non Satisfaite

Les résultats de la demande non satisfaite montrent un déficit en eau potable pour tous les scénarios. Ce déficit est clairement visible dans le scénario de référence où la demande n'est pas satisfaite pendant toute la période de simulation, avec des valeurs significatives de l'ordre de 9 millions de m³ en 2035, dépasse 15 millions de m³ en 2045, et dépasse 32 millions de m³ en 2060 . A noter que la dotation moyenne de 180 l/j/Personne en 2015 sera à un rythme plus élevé par rapport au scénario de référence, rendant la demande non satisfaite visiblement plus faible avec une différence de 28 millions de m³.

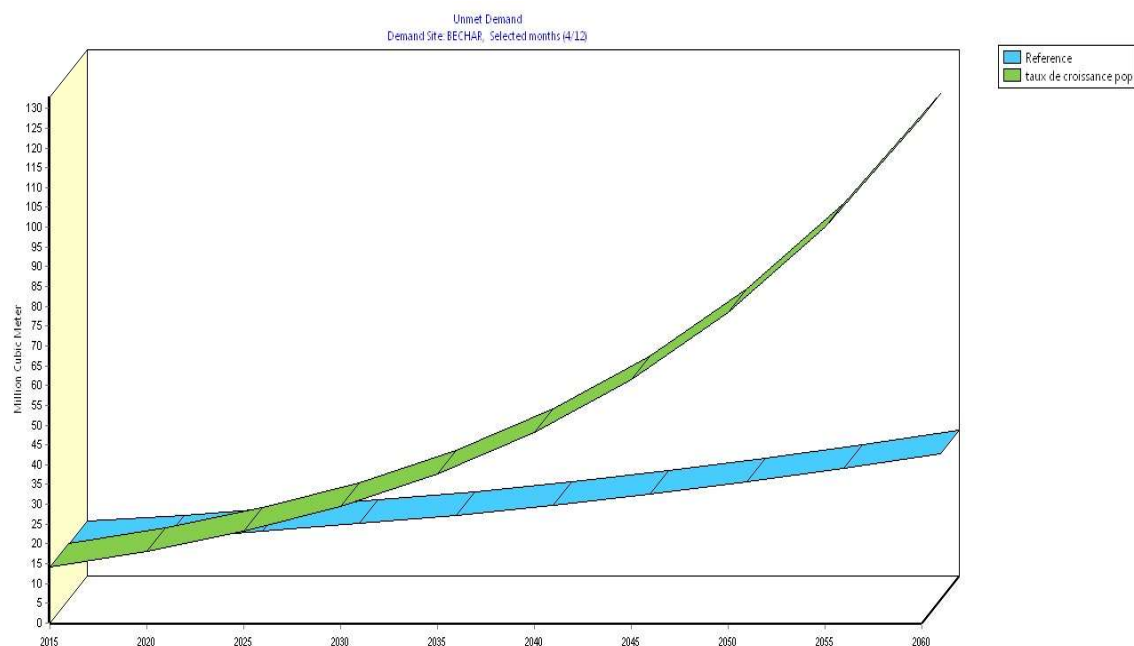


Figure V.21 Évolution de la demande en eau non satisfaite dans la ville de Béchar – tous scénarios ;(Seddiki et al., 2021)

V.9.2 Création du scénario « Méthode de l'année hydrologique »

Le but est de définir différents régimes climatiques (très sec, sec, humide, très humide, normale,...) et de comparer avec une année normale en donnant une valeur entre 0.7 à 1.45 à chaque type de climat. La valeur 1 pour une année normale, une valeur inférieure à 1 pour année sèche et une valeur supérieure à 1 pour année humide.

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.

a- Définition de chaque type de climat

Le logiciel de simulation ne reconnaît que des valeurs numériques. Chaque type de climat doit porter une valeur numérique pour que le logiciel puisse faire la modélisation. Le tableau ci-après (Tableau (V.5)) présente les coefficients utilisés pour les différents types de climat. La figure (V.22) présente la fenêtre de saisie de donnée du scénario « méthode de l'année hydrologique ».

Tableau V.5 Définitions des types de climats

Types de l'année	Très sec	sec	Normal	humide	Très humide
Chiffre correspondant	0.7	0.8	1	1.3	1.45

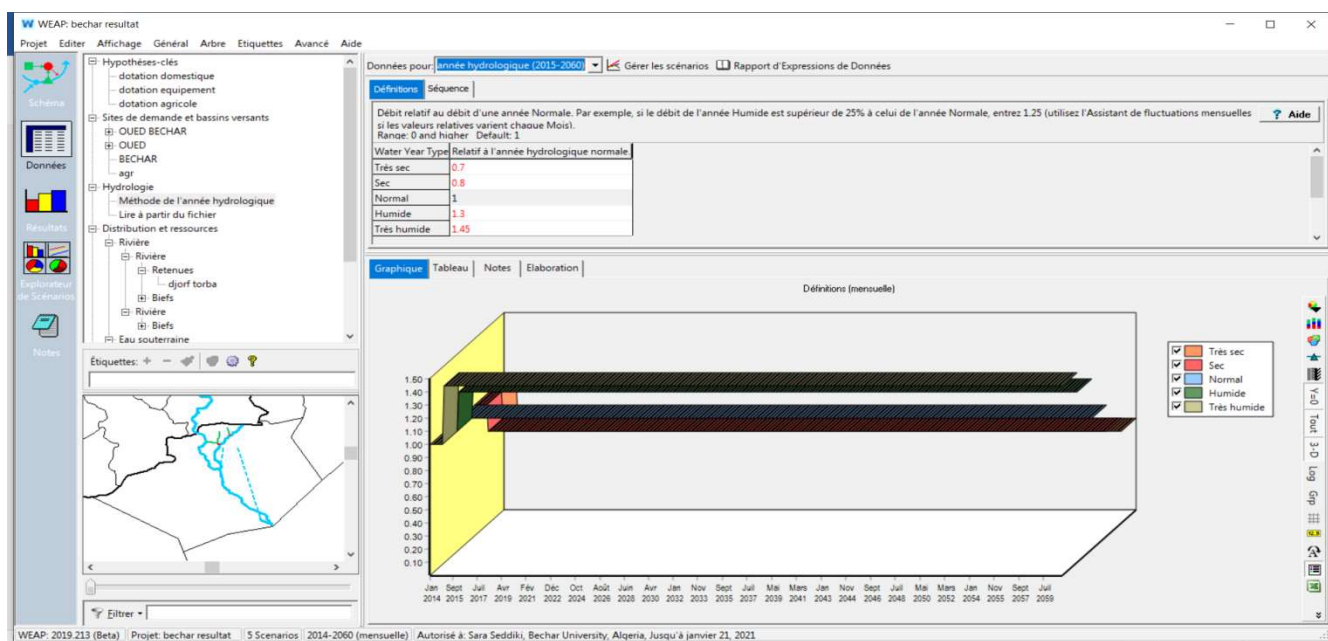


Figure V.22 Fenêtre « Méthode de l'année hydrologique »

b- Créer la séquence de l'Année Hydrologique :

L'étape suivante de l'utilisation de la « Méthode de l'année Hydrologique » est la création d'une séquence de variations climatiques pour la période d'étude.

Pour chaque année de la période est assigné une des catégories du climat (exp. Humide). Pour le scénario nous allons considérer la séquence suivante :

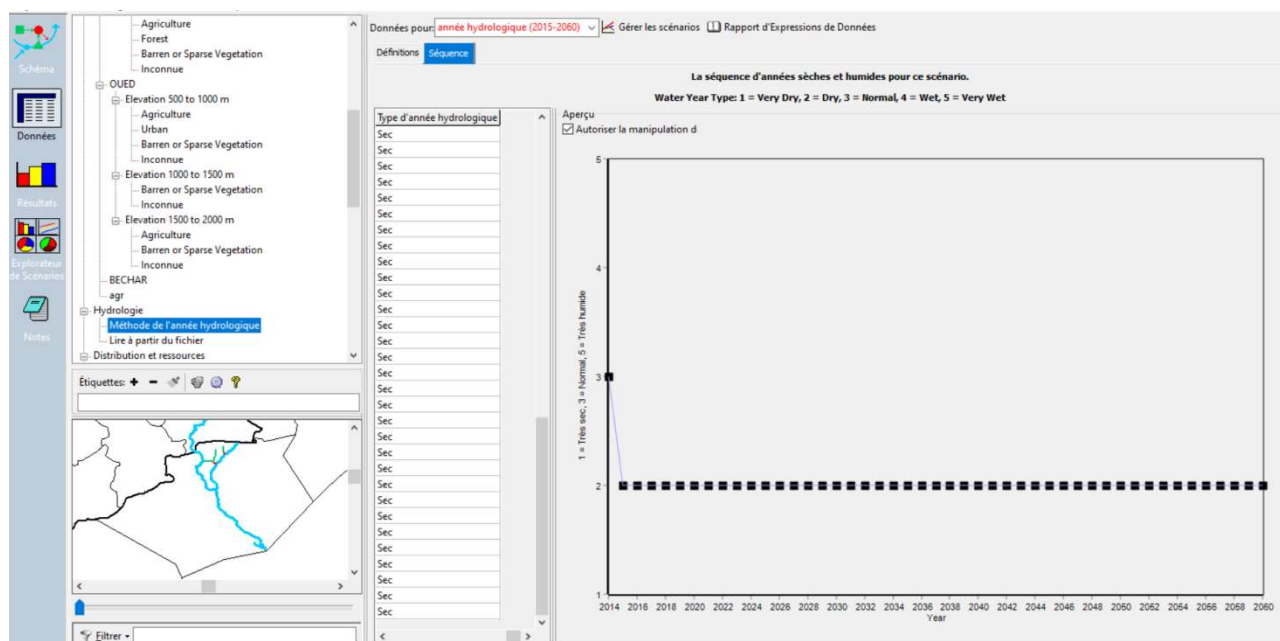


Figure V.23 Fenêtre « Méthode de l'année hydrologique » avec la séquence des types d'année.

V.9.3 Scénario de changement climatique « climat sec prolongé »

Pour la demande en eau dans le scénario changement climatique climat sec prolongé en 2060 est de 440 Mm³, très élevé par rapport au scénario de référence cela signifie que la ville va enregistrer non satisfaction en eau reviens de l'augmentation de demande en eau le long des années de la période d'étude comme montre les figures ci-après.

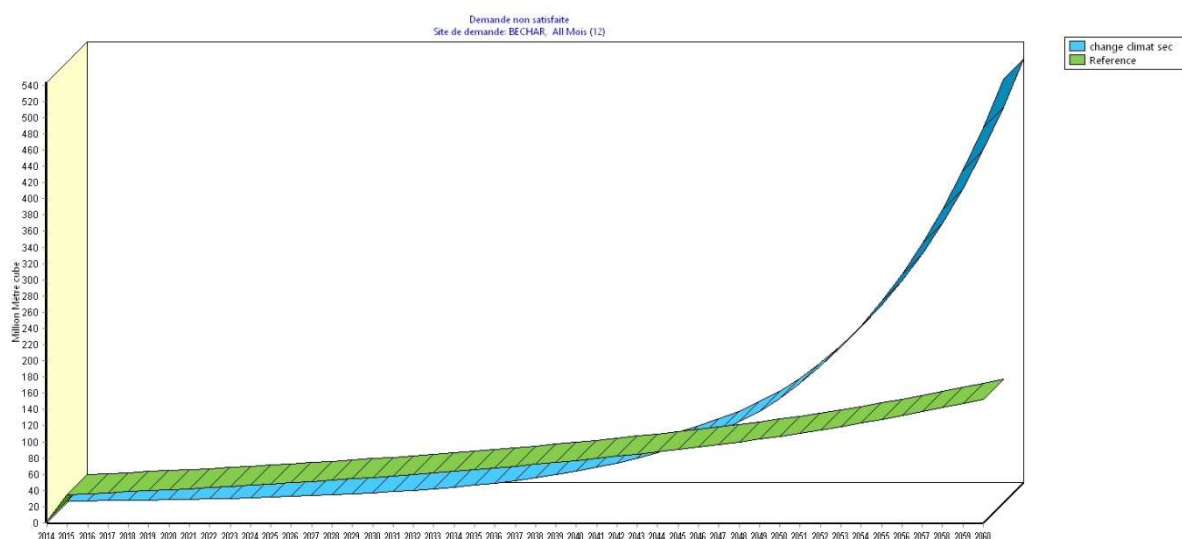


Figure V.24 demande en Eau non satisfaite pour les scénarios « Référence, changement climatique »2014-2060

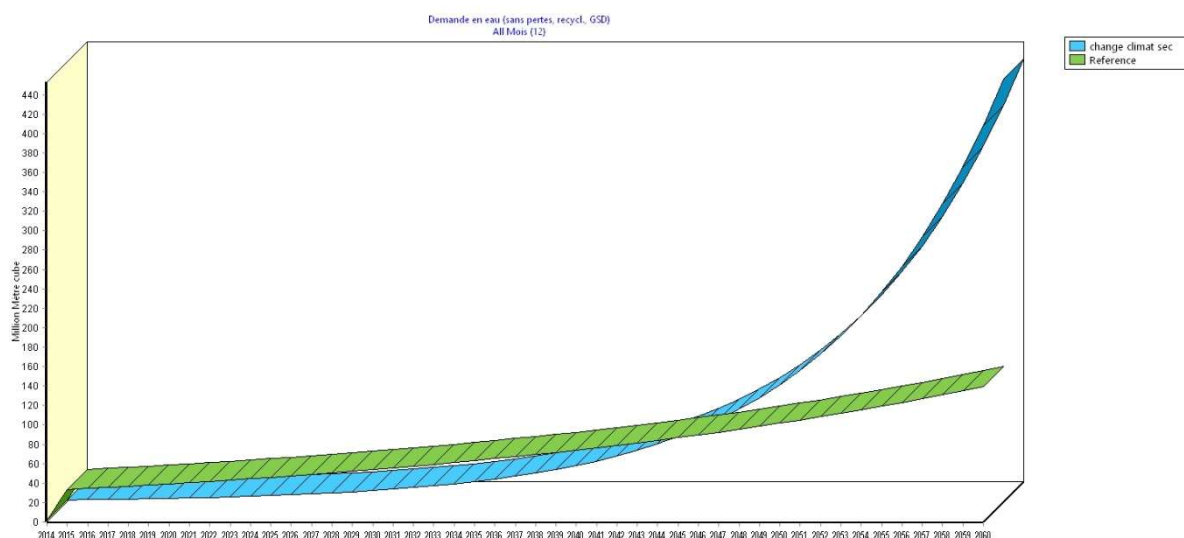


Figure V.25 la demande en eau du la ville de Béchar dans les scénarios 2014-2060 «Référence, changement climatique »

Cette figure montre que la demande en eau croît substantiellement. Elle atteint en l'an 2060 : 440 Mm³ pour le scénario changement climatique pour la ville de Béchar et 310 Mm³ pour le scénario référence.

V.9.4 Scénario forte croissance de population et changement climatique

Dans ce scénario, on va évaluer l'impact de forte croissance démographique et le changement climatique, climat sec prolongé sur la période 2015-2060. Ce scénario est basé sur la méthode de l'année hydrologique.

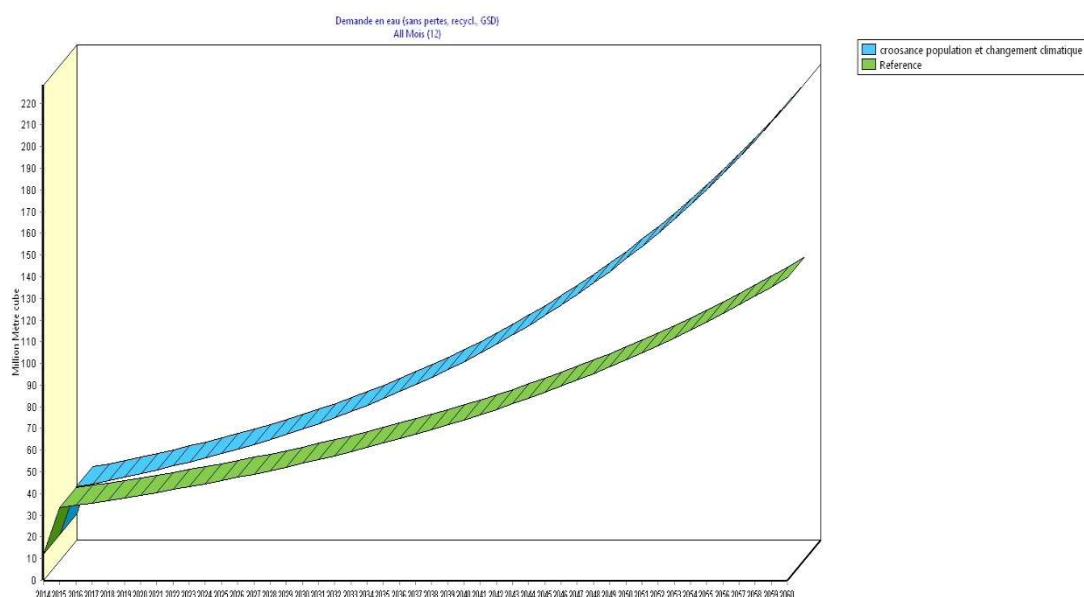


Figure V.26 demande en Eau pour les scénarios « Référence, forte croissance de population et changement climatique »

Dans les résultats de demande en eau le scénario forte croissance de population et changement climatique par rapport au scénario de référence varie de 35 Mm³ de l'année 2015 au 220 Mm³ en 2060.

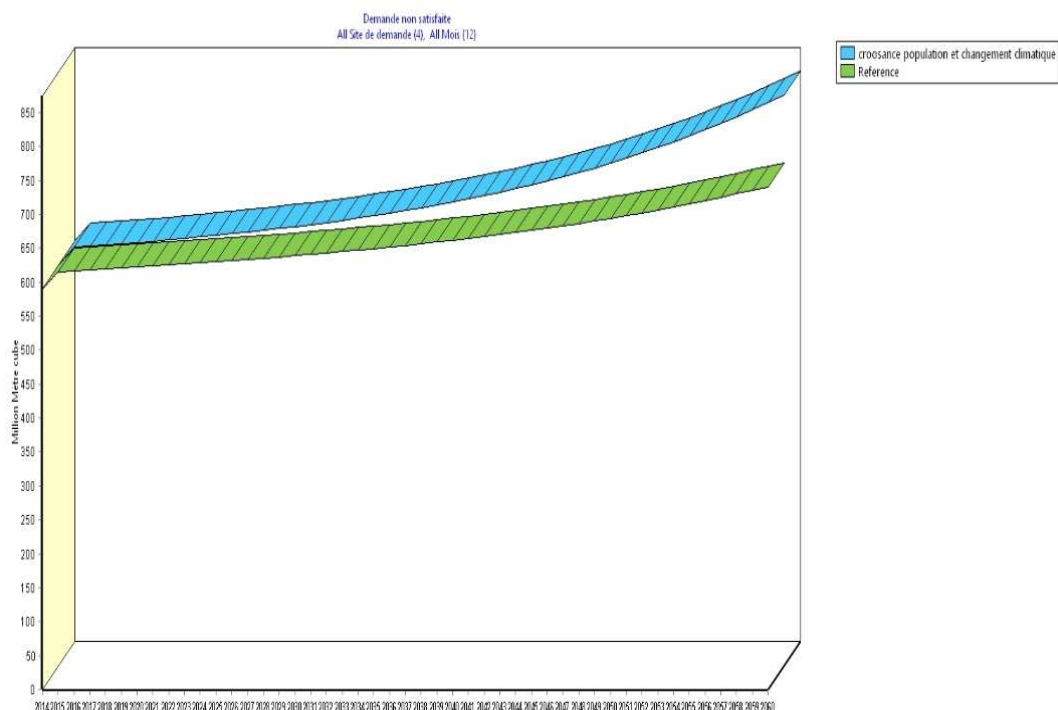


Figure V.27 Évolution de la demande en eau non satisfaite dans la ville de Béchar pour les scénarios « Reference, forte croissance de population et changement climatique »

Pour la demande en eau non satisfaite dans ce scénario, en comparaison avec le scénario de référence est augmenté, elle varie de 39Mm³ en 2015 au 242Mm³ en 2060, cela reviens de la demande en eau potable causé par le climat sec prolongé.

V.9.5 Scénario d'augmentation de volume

Dans ce scénario, on a créé une grande réservoir telle qu'un autre ouvrage de stockage, qui permet de cumuler les eaux dans les périodes de grands débits, pour assurer la demande en eau dans les périodes de non satisfaction, cela influe sur le régime hydrologique .

Dans cette comparaison de scénario de retenue ajouté et de scénario de référence, la demande en eau déminue et revient au reserve de stockage ajouté dans la zone d'étude, cela signifié que la demande en eau est satisfaite . La figure suivante montre le taux de recouvrement choisissant l'année 2060 comme exemple .

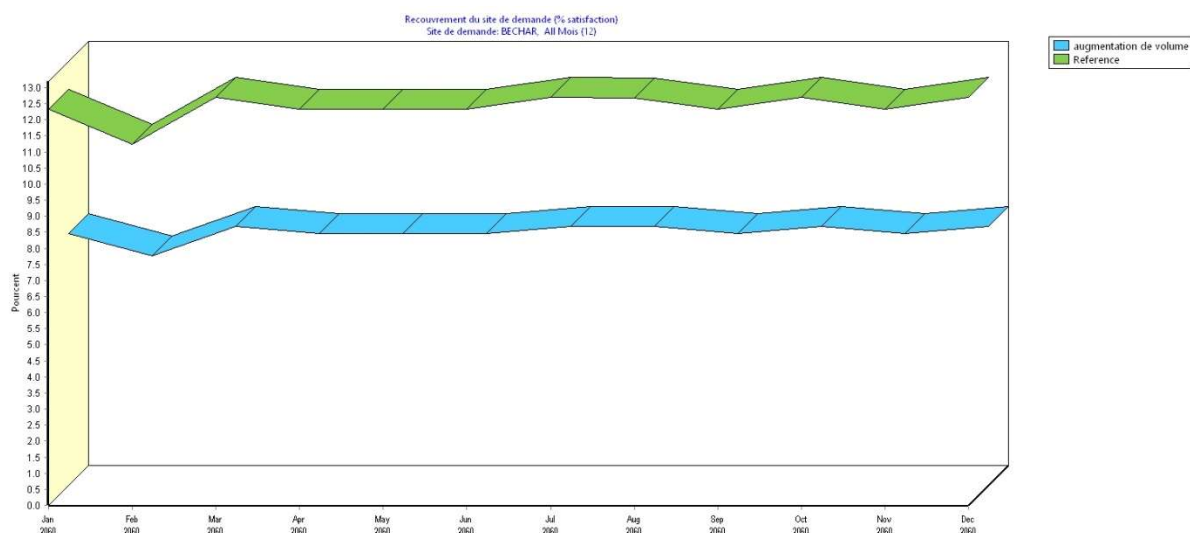


Figure V.28 Taux de recouvrement les scénarios de la ville de Béchar pour les scénarios «Référence, Scenario de retenue ajouté « augmentation de volume » pour l'année 2060.

V.10 Possibilités d'amélioration du taux de recouvrement

Pour réduire les déficits actuels et futurs, les actions suivantes sont à engager, par exemple:

- Des économies d'eau et notamment la réduction de la consommation de l'eau doivent être engagées ;
- L'augmentation des ressources en eau (petits barrages, épuration des eaux usées: le traitement des eaux usées est une nécessité absolue pour la protection de l'environnement et permet d'éviter tout risque sanitaire, eaux dessalées) doit être prise en considération.

V.12 Conclusion

La ville de Béchar située dans un climat aride du Sahara Algérien, avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ **72** mm. Il existe deux sources pour assurer l'approvisionnement en eau de la ville de Béchar ; le premier provient d'un bassin versant constitué de 8 forages non renouvelables, et le second provient du barrage de Djorf Torba, situé à environ 45 km à l'ouest. La pression sur la demande en eau dans la région des hauts plateaux dépend de nombreux facteurs, à savoir : démographique, social, climatique et économique.

Cette étude a montré que la méthode d'utilisation d'un outil de modélisation accessible pour intégrer les données hydrologiques, hydrogéologiques et démographiques facilite la prise de décision dans la gestion de l'eau.

Les résultats du modèle WEAP montrent que la rareté de l'eau est un défi dans cette région, les effets du changement climatique et les pressions démographiques montrent un déficit très important, dépassant les 28 millions de m³ en 2060. Le débit de retour augmente en fonction de l'évolution des besoins de consommation.

Ces problèmes peuvent être résolus par la mise en œuvre d'une nouvelle stratégie basée sur la gestion de la demande en eau, la sensibilisation des usagers à l'économie d'eau, l'amélioration des réseaux de distribution et la diversification des ressources en eau. Selon les résultats des reflux, ces ressources peuvent être utilisées pour répondre aux besoins en eau de l'agriculture ou de l'industrie ou pour reconstituer artificiellement les nappes phréatiques. Un autre avantage de cette mesure est la protection de l'environnement contre la pollution et les maladies qui peuvent être transmises par l'eau contaminée.

On peut dire que l'alimentation en eau potable de la ville de Béchar a subi plusieurs changements qui sont principalement dus à l'équilibre entre les ressources disponibles et les besoins, le climat et la population, il faut donc suggérer quelques recommandations :

- L'utilisation de sources non conventionnelles, en plus de la construction de barrages et de barrages sur les collines pour préserver cette ressource rare et épuisable, est devenue inévitable.
- Le transfert d'eau, la solution qui a été choisie pour le développement de la région.

- Approfondir l'état des connaissances sur les ressources en eau et élaborer un document technique fondamental, conduisant à la gestion intégrée de ces ressources.
- Établir une étude démographique détaillée au niveau de la zone de consommation est nécessaire pour comprendre l'évolution de la consommation d'eau et mieux la gérer.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

La gestion intégrée et durable des ressources en eau requiert une bonne connaissance des systèmes naturels et des interactions entre ces systèmes complexes et leurs utilisations. Cette gestion passe par l'usage d'outils d'aide à la décision afin de représenter la variabilité spatio-temporelle des données : Systèmes d'Information Géographiques et Modèles Hydrologiques et gestion, comme WEAP, MIKE BASIN, SWAT, etc.

L'intégration de la variabilité spatiale des données améliore la connaissance des processus hydrologiques et des enjeux de la gestion des ressources en eau. Les Systèmes d'Information Géographique constituent l'outil indispensable pour prendre en compte cette variabilité. Outre leur fonction de base de données, les SIG offrent un moyen d'analyser les relations spatiales entre les différents éléments d'une ressource en eau, cette analyse est réalisée aussi bien sur des données quantitatives que qualitatives.

Le concept de bilan hydrique exprime l'équilibre des changements entre toute les ressources en eau pour le planifier et le gérer de manière convenable afin de comparer l'offre et la demande pour déterminer la quantité d'eau disponible pour l'utilisation, le bilan hydrique permet de savoir le déficit hydrique notamment prévoir les sécheresses ou les inondations.

La demande en eau dans les zones arides dépend de nombreux facteurs, à savoir les facteurs démographiques, sociaux, climatiques et économiques. Ces facteurs conduisent à l'instabilité des ressources en eau, ce qui conduit à la rareté de l'eau dans les zones urbaines.

Dans cette étude, on a utilisé un modèle de gestion intégrée de l'eau, WEAP, pour modéliser la demande en eau et créer des scénarios et afin d'évaluer la disponibilité future de l'eau dans la ville de Bechar.

Cette étude a montré que la méthode d'utilisation d'un outil de modélisation accessible pour intégrer des données hydrologiques, hydrogéologiques et démographiques, facilite la prise de décision dans la gestion de l'eau.

Dans l'étude de la gestion des ressources en eau de la ville de BECHAR, nous avons utilisé le modèle WEAP 21. Ce modèle est un outil de prévision qui simule les ressources en eau, l'offre et la demande en eau.

Les résultats du modèle WEAP montrent que la pénurie d'eau est un défi dans cette région. Les effets du changement climatique et les pressions démographiques montrent un déficit très important, dépassant 28 millions de m³ en 2060. Le retour bas augmente en fonction de l'évolution de la consommation des besoins des sites.

L'application du modèle WEAP dans notre étude, nous ramène à proposer des solutions pour satisfaire les besoins en eau dans la ville de BECHAR, parmi ces solutions, nous retenons :

- La réduction des pertes dans les réseaux de 40 % à 20% et la réduction de la consommation d'eau de 20 % pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.
- Le changement des techniques d'irrigation, si elles sont envisageables.
- L'utilisation de sources non conventionnelles, en plus de la construction de barrages et de retenues sur les collines pour préserver cette ressource rare et épuisable, qui est devenue inévitable.
- Le transfert d'eau, la solution qui a été choisie pour le développement de la région.
- Approfondir l'état des connaissances sur les ressources en eau et élaborer un document technique fondamental, conduisant à la gestion intégrée de ces ressources.
- Établir une étude démographique détaillée au niveau de la zone de consommation, nécessaire pour comprendre l'évolution de la consommation d'eau et mieux la gérer.
- WEAP réutilise la série des débits des années précédentes pour prévoir les données des années futures qu'on peut combiner avec d'autres logiciels hydrologiques tels que SWAT pour avoir des résultats efficaces.

En conclusion, la mise en œuvre de la gestion des ressources en eau a été obtenue par l'intermédiaire du bilan de l'offre et de la demande en eau, comme un outil pour déterminer les temps de la gestion et les exigences futures en eau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

ABDELBAKI C., BENCHAIIB M., BENZIADA S., MAHMOUDI H., GOOSEN M, 2016 «Managment of waterdistribution network by voupling SIG and hydrolic modeling case stady of Cherouine in Algeria». Applied Water and Sci 7(3).

ABDELGHANI Q, 2015 « Quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut Sebou (Maroc) ». Thèse de Doctorat de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah et l'Université de Lorraine.

AICHOURI I, 2016 « Modélisation de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier d'Annaba. Apport des analyses salinométriques ». Thèse de Doctorat. Université de Badji Mokhtar Annaba.

AHARIK K., EL GAROUANI A, 2016 « Application du SIG pour la gestion des ressources en eau dans la région de Saïss (Maroc) ». Colloque International des utilisateurs du SIG, Oujda Maroc.

AMBASSADE DE L'EAU, « STRATEAU, l'outil d'aide à la décision »
<http://www.ambassade-eau.com/strateau-presentation> , consulté 25/09/2021 à 19.54 PM

ARNOLD J., MAURO D.L., ALI S., COLE G, 2005 «Watershed Modeling using SWAT2003». Third Conference on Watershed Management to Meet Water Quality Standards and Emerging TMDL (Total Maximum Daily Load), Atlanta, Georgia.

ARRANZ R, 2006 «Future water demands and resources in the Olifants catchment, South Africa: a scenario analysis approach using the WEAP model», Department of Civil Engineering In partial fulfillment of the requirement for the Degree of Master of Science Colorado State. University Fort Collins, Colorado.

B

BADRAOUI A, 2019 « Apport de modèle Weap dans l'eude prospective de la balance offre /demande en eau dans le bassin de la tafna ». Mémoire de Master. Université Boubakar Belkaid Tlemcen.

BASIL T. LONGOR, LONG-CANG S., 2007 « Groundwater overdraft vulnerability and environmental impact assessment in Arusha », Environmental geology 51, p 1171-1176.

BENBOUZIANE Z, 2016 « Gestion de la ressource en eau du projet mao ». Mémoire de Magister. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.

BENDLIDIA MOHAMMED , GAELLE THIVET ,2010 Gestion des Ressources en eau ; Limite d'une politique de l'offre . http://portail2.reseau-concept.net/Upload/ciheam/fichiers/NAN58_Thivet.pdf.

BENSEDDIK B., EL MANSOURI B, 2012 « Synthèse du Système d'Aide à la Décision (SAD) Pour les Ressources en Eaux du Gharb ». Mémoire de Master. Université d'Ibn Tofail Maroc.

BENTAHAR K., 2014 «Gestion qualitative et quantitative de l'eau de la ville de Tlemcen ». Mémoire de magister. Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf Oran.

BOUFELDJA S, 2013 «Impact du changement climatique sur les ressources en eau dans le bassin versant de Béchar». Mémoire de magister. Université TAHRI Mohamed Béchar.

BOUKLIA H, 2011 « Contribution à la gestion de l'eau dans la ville d'Oran ». Mémoire de magister. Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf Oran.

BOUZNAD I.E., ELAHCENE O., BELKSIER M.S., 2020 « Management model for water demand using the WEAP tool : Case of Setif Province, Algerian highlands ». Journal of Water and Land Development No. 45 p19-28.

Bureau d'études industrielles énergies renouvelables et environnement (BEI ERE), 2012 «Présentation du modèle SWAT».



DALI NAOUEL, 2018 « Contribution A L'actualisation Et Gestion Durable Des Ressources En Eau Des Bassins Des Hauts Plateaux Constantinois » Université Badji Moukhtar –Annaba . These De Doctorat En Sciences

DAVID Y., JACK S., DAVID P., ANNETTE H, 2005 «WEAP21 - A Demand, Priority, and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics ». Water International Volume 30, Issue 4 pp 487-500.

DAVY VANHAM INTERGRATED,2009 : Water ressources Management Doctorate n science technique Université Leopold-Franzens – Innsbruck,Autriche

DHI EAU & ENVIRONNEMENT ,2006 MIKE BASIN, modélisation de la gestion de la ressource en eau sous SIG https://www.esrifrance.fr/sig2006/DHI_MIKEBASIN.html consulté le 20/09/2021 a 10.00 Am

DROOGERS P., TERINK W., HUNINK J., KAUFFMAN S., GODERT V L, 2011 « Options de gestion de l'eau verte dans le bassin du Sebou, Maroc – Analyse avantages-coûts utilisant le modèle WEAP ». Green Water Credits Report M2a / FutureWater Report 102.

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. Volume 11.



FRANÇOIS MOLLE,2012 La Gestion intégrée des ressources en eau Anatomie d'un concept https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-08/010059116.pdf



GWP,2005 : Global water partenership Plan de gestion intégrée des ressources en eau .https://www.pseau.org/outils/ouvrages/gwp_plans_gire_manuel_fr.pdf

GWP,2009 : Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin (Global Water Partnership)

7

HAMLAT A, 2014 « Contribution à la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'ouest Algérien à l'aide d'un système informatisé ». Thèse de doctorat. Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf Oran.

HARRY FLINS, 2008 Evaluation des ressources en eau
<https://public.wmo.int/fr/bulletin/%C3%A9valuation-des-ressources-en-eau-un-imp%C3%A9ratif> consulté le 26/09/2021 à 0:44.

8

JEAN D., 1963 « Le climat Sahara tome II.» mémoire hors série, université d'Alger 296 pages,

9

KABOUR A , 2011 «Evaluation et gestion des ressources hydrauliques dans une zones arides cas de la ville de Bechar ». LARHYSS Journal Volume 8, Numéro 2.

KHELFAOUI F., 2014 « Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Saf-saf (Nord-Est Algerian) ». Thèse de Doctorat Université de Badji Mokhtar Annaba.

KENDOUCI MA., BENDIDA A., MEBARKI S., KHARROUBI B, 2019 «Study of the management efficiency of the drinking water supply in arid areas : case of Bechar city». Appl Water Sci 9(8).

KENDOUCIM.A., KHARROUBI B, MEBARKI S., BENDIDA A., 2016 «The Physicochemical and Hydrodynamic Characteristics of the Desert Sands of Algeria to be Used in Water Treatment», Hydrol Current Res 2016, 7:243.

KHODJA DJAAFAR H., 2020 « Contribution à la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'oued Isser à l'aide d'un système informatisé». Thèse de doctorat. Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf Oran.

L

LARBI A. , 2012 «Utilisation d'un sig et d'un modele mathématique pour la gestion intégrée des ressources en eau a l'échelle du bassin côtier algérois». Mémoire de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene Bab Ezzouar Alger.

LAURENT F, 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, de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

LITTLEJOHN D., 1970 « Models and managers: the concept of a décision calculus ». Journal Management Science. Volume 50 N° 12.

LOGOWATER .,2008 Gouvernement local de gestion intégré des ressources en eau .

M

MARLILLYS MACE,2010 : centre d'information sur l'eau <https://www.cieau.com/>

O

ONIDRI, 2014 «Etude d'ammenagement de reprofilage del'oued Béchar». Rapport d'étude

Organisme des bassins versant., 2021 , Gestion de l'eau
<https://eaugaspesiesud.org/gestion-integree-de-leau-par-bassin-versant/definition-de-la-giebv/>

P

PROGEA S., 2003 « report on models, tools and DSS for water management» Deliverable 10, Water Strategy Man EVK1-CT-2001-00098.

<http://environ.chemeng.ntua.gr/wsm/Uploads/Deliverables/FirstYear/Deliverable%2010.pdf>
consulté 02/10/2021 a 20.25 PM

POUGET J-C., BELLAUBI F., DE SA A., 2003 « Un environnement de modélisation, pour tester l'allocation de ressources en eau, HyD2002 et ses applications », Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant. Actes de l'atelier du PCSI, 2-3 décembre 2003, Montpellier, France.

R

RAKOTONDRABE F., 2007 « Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, Modélisation par logiciel Weap21 : cas du bassin versant de Morondava (sud-ouest de Madagascar) ».Mémoire de diplôme d'études approfondies (DEA). Université d'Antananarivo.

REBEN NYAOKE DIENYA, 2007 . Application of the WEAP in integrated water resources management of the NYANDO river basin , KENYA Master Of Science , Jomo Kenyatta University Of Agriculture And Technology

REYNARD EMANUEL,2000 , Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristique des montagne Thèse doctorat université de Lausanne

ROUISSAT B, 2010 « La gestion des ressources en eau en Algérie : Situation, défis et apport de l'approche systémique » Revue Economie & Management.

S

SADAT S., MANSOUR H., MEKAOUI A., MERZOUGUI T, 2020 «Identification and evolution of the turonian aquifer case study: cretaceous basin of Bechar». water land development N° 46. p 190-199.

SAVOSKULOXANA S., Elena V. Chevnina, Felix I. Perziger, LudmilaYu. Vasilina, Viacheslav L. Baburin, Alexander I. Danshin A.I., BahtiyarMatyakubov et Ruslan R. Murakaev, 2003: « Water, Climate, Food, And Environment in the Syr Darya Basin », Contribution to the project ADAPT (Adaptation strategies to changing environments). <https://www.weap21.org/downloads/AdaptSyrDarya.pdf>

SEDDIKI S., CHERIF E, 2021 «Modeling of water demand management in an arid area: case» Applied Water Sci 11(87).

Sonia-Sabrina BENDIB Introduction aux Systèmes d'Aide à la Décision (support de cours)
http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/sonia-sabrina-bendib/files/sad_support_de_cours.pdf

SOUAK FATIMA ZAHRA ,2010 la politique de l'eau en Algerie
<https://www.enssea.net/enssea/majalat/1003.pdf>

STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE, 2008 «une collection de modules autonome pour aider à apprendre le logiciel WEAP.» p 203.

STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE, 2008 «water evaluation and planning user Guide For WEAP 21.» p 400.

7

TAC, 2012 : Partenariat mondial pour l'eau, Comité technique consultatif, « La gestion intégrée des ressources en eau », Partenariat mondial pour l'eau, Comité technique consultatif (TAC), Global Water Partnership SE - 105 25 Stockholm. Suède, ISSN : 1403-5324.

TRABELSI N., ZAIRI M., TRIKI I., BEN DHIA H., 2006 « Contribution d'un SIG à la gestion des ressources en eaux souterraines : Cas de la nappe profonde de Sfax, Tunisie ». Conférence francophone ESRI.

8

VENUGOPAL T., GIRITHARAN L., JAYAPRAKASH M., PERIAKALI P., 2008« Environmental impact assessment and seasonal variation study of the groundwater in the vicinity river Adyar, Chennai, India», Environ. Monit. Assess. pp 18.

VILLENEUVE J.P., HUBERT P., MAILHOT A., ROUSSEAU A.N, 1998 « La modélisation hydrologique et la gestion de l'eau ». Revue des sciences de l'eau. Volume 11.

9

YERIMA M., 2017 « Optimisation de l'allocation des eaux de surface dans une vision prospective : application du modèle weap21 dans la vallée du Sourou au Burkina Faso ». Mémoire de master. Institut International d'Ingénierie Burkina Faso.

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A., 2005 «WEAP21 - A demand- priority and preference-driven water planning model Part 1: Model characteristics. » Water International, 30(4), 487-500. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060508691893>

Yates, D. N., & Strzepek, K. M.,1998 « Modeling the Nile Basin under Climatic Change»
Journal of Hydrologic Engineering , 3(2), 98-108. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1998\)3:2\(98\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1998)3:2(98))